Aus dem Institut für Wissenschaftliche Mikroskopie
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. Haselmann

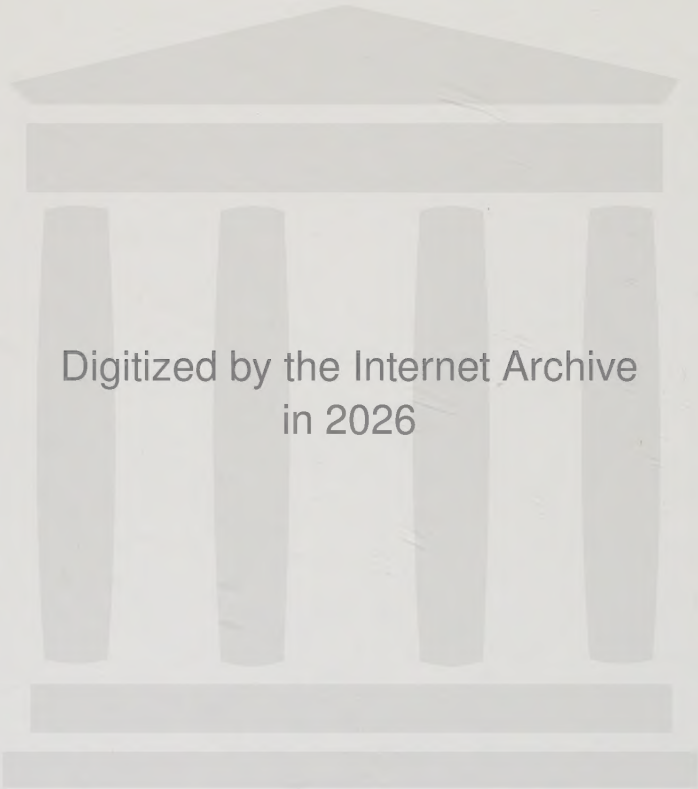
BILDUNSCHÄRFEN IN DER KLEINBILDMIKROPHOTOGRAPHIE INFOLGE ÄUSSERER MECHANISCHER EINWIRKUNGEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Dieter Hämmerle
aus
Reutlingen

1978


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536520_0006

Aus dem Institut für Wissenschaftliche Mikroskopie
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. Haselmann

BILDUNSCHÄRFEN IN DER KLEINBILDMIKROPHOTOGRAPHIE INFOLGE ÄUSSERER MECHANISCHER EINWIRKUNGEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Dieter Hämmerle
aus
Reutlingen

1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. med. H. J. Mallach

Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. Haselmann

Fotodruck H. Resch · Georgstraße 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A EINLEITUNG	1
1 Die Einflüsse auf die Bildqualität der mikrophotographischen Aufnahme	1
2 Die Beeinflussung der Bildqualität durch äußere Faktoren	3
B FRAGESTELLUNG	8
C METHODIK	9
1 Mikrophotographische Einrichtungen und Unterbau	11
2 Beleuchtungseinrichtung	19
3 Impulserzeuger	2o
4 Photographische Darstellung der Schwingungen des Mikroskops	33
D DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE	47
E ERGEBNISSE	49
F DISKUSSION	53
G NEBENERGEBNISSE	57
H ZUSAMMENFASSUNG	64
I LITERATURVERZEICHNIS	67

Definitionen der in dieser Arbeit häufiger gebrauchten Bezeichnungen und Hinweise auf deren nähere Erläuterung.

Basisplatte:	Teil des Unterbaus, auf dem die mikrophotographische Einrichtung steht (s. C 1.2)
Impulserzeuger:	Gerät zur Erzeugung definierter Impulse (s. C 3)
Impulsrichtung (IR):	Richtung des Impulses zur mechanischen Symmetrieebene des Mikroskops. Sie wird um 45° gestuft angegeben (s. C 1.1)
Kreuztischwanderung (KW):	Unbeabsichtigte, nach Impulseinwirkung auftretende Bewegung des Kreuztischs in Richtung der Kugelbahnführungen. Die Richtung wird als + definiert, wenn die Bewegung auf den Tubusträger zu erfolgt; bewegt sich der Tisch vom Tubusträger weg, hat die Richtung das Vorzeichen minus (s. G)
Meßbelichtungsdauer (T_B):	Belichtungszeit der Meßaufnahmen zur Schärfenbestimmung (s. C 4.4)
Ruhezeit (T_R):	Teil der Meßbelichtungsdauer, innerhalb der die mikrophotographische Einrichtung während der Exposition nicht schwingt (s. C 4.4)

Schwingzeit (T_S): Teil der Meßbelichtungsdauer, innerhalb der die mikrophotographische Einrichtung schwingt (s. C 4.4; $T_R + T_S = T_B$)

Vorlaufzeit (T_V): Die Zeit zwischen Beginn der Auslösung des Fallkörpers und der Verschlußöffnung; sie muß der Zeit zwischen Beginn der Auslösung des Fallkörpers und seinem Aufschlagen angepaßt werden (s. C 3)

Zugspannung (ZSp): Gerichtete Zugkräfte, die beim Bewegen des Kreuztisches im Fett der Kugelbahnführungen entstehen. Ihre Richtung ist definiert analog der der Kreuztischwanderung, KW (s. G)

A EINLEITUNG

1 Die Einflüsse auf die Bildqualität der mikrophotographischen Aufnahme

Die erreichbare Qualität einer Mikrophotographie hat sich seit den ersten Versuchen auf diesem Gebiet bis heute ständig und in erheblichem Ausmaß gesteigert. Die erzielten Verbesserungen in jedem Zeitabschnitt waren eine direkte Folge der technischen Weiterentwicklung auf allen beteiligten Gebieten.

Als 1802 H. DAVY zum erstenmal eine Mikrophotographie herstellte, konnte das gewonnene Bild noch nicht einmal fixiert und damit haltbar gemacht werden. Erst 40 Jahre später gelang es, im verdunkelten Raum an die weiße Wand projizierte mikroskopische Präparate photographisch als Daguerreotypien festzuhalten.

Das Hauptproblem dieser Zeit stellte die Photochemie dar. Auch noch die nassen Kollodium- und die noch unempfindlicheren ersten trockenen Platten erforderten zu lange Belichtungszeiten. Erst die Einführung der orthochromatischen Platte sowie die Fortschritte in der Beleuchtungstechnik durch den Abbe'schen Kondensor und das elektrische Bogenlicht in Verbindung mit den achromatischen und apochromatischen Linsensystemen von Ernst ABBE ermöglichten eine weitere Verbreitung der Mikrophotographie (PETERFI, 29).

Durch ständige Verbesserungen der Filmqualität (PRITSCHOW, 30) war es möglich, das Negativformat ohne nenneswerte Qualitätsverluste bis auf das Kleinbildformat 24 mal 36 mm zu verkleinern.

Der Grund für den Erfolg des Kleinbildformats in der

Photographie lag in weiteren technischen Neuerungen, wie Filmtransport um eine Negativbreite, bessere Filmplanlage (NIDETZKY, 27), vor allem aber in den Vorteilen, die in der wesentlich geringeren Größe des Photoapparats begründet liegen.

Die großen mikrophotographischen Einrichtungen wie Horizontal- und Vertikalkameras mit langem Balgenauszug wurden teilweise durch kompakte Aufsetzkameras ersetzt, die dem Mikroskoptubus direkt aufgesetzt werden können und keine Stative mit langen Hebelarmen erfordern.

Nach Einführung der Homale und später der Planachromate durch BOEGEHOLD (6) konnte erstmals das gesamte Bildfeld für eine Mikrophotographie verwendet werden, da damit die Bildfeldkrümmung behoben wurde und sich dadurch auch die Randpartien genügend scharf darstellten.

Neben den bausteinartig zusammengesetzten mikrophotographischen Apparaten stellt die Industrie noch sogenannte Kameramikroskope her, bei denen Kamera, Mikroskop und Beleuchtungseinrichtung zu einer Einheit verbunden sind. Dabei fallen lange Hebelarme und schwingungsempfindliche Aufbauten völlig weg. Die ersten Geräte dieser Art waren das Busch-Citophot (BUSCH, 8), das ROW-Mikrophot, das Zeiss-Ultraphot und das Leitz-Panphot (WEIDEL, 47).

Diese heute ausnahmslos mit Belichtungsautomatik ausgestatteten, bequem handzuhabenden, aber auch aufwendigen und teuren Geräte werden beim häufigen und routinemäßigen Photographieren von mikroskopischen Objekten eingesetzt; dagegen sind aber auch heute noch die einfachen Einrichtungen vom Typ der Aufsetzkamera nicht etwa nur dort verbreitet, wo Mikrophotographien nur gelegentlich benötigt werden.

Während auch bei den einfacheren Einrichtungen Objektive und Aufnahmematerial von dem heute hohen Qualitätsniveau

eingesetzt werden können, und auch andere, die Bildqualität beeinflussende Faktoren wie Filmplanlage und genaue Scharfeinstellung beherrscht werden, findet bei der Anwendung dieser Einrichtungen der Einfluß von Erschütterungen auf die Bildschärfe eine viel zu geringe Beachtung. Diese können jedoch zum begrenzenden Faktor für die Bildqualität werden (LOVELAND, 21).

2 Die Beeinflussung der Bildqualität durch äußere Faktoren

Bei den Erschütterungen, die auf die mikrophotographische Einrichtung einwirken, können unterschieden werden:

a) Erschütterungen, die von Manipulationen am Mikroskop oder an der Kamera (LOVELAND, 21) während oder vor dem Auslösen herrühren oder durch Ablaufen des eingebauten mechanischen Verschlusses beim Belichten entstehen (VOSZ, 45; STÜPER, 42) und

b) Erschütterungen, die von außen über die Standfläche der Einrichtung an diese herangetragen werden. Dabei lassen sich zwei Arten unterscheiden. Die erste entsteht durch einen periodisch auftretenden Impuls und wird von ortsständigen Schwingungserzeugern verursacht, wie dies zum Beispiel laufende Maschinen in Werkstätten sind.

   Die zweite Art entsteht durch einen Impuls, der nur einmal auftritt und von nicht ständig wirksamen Erzeugern hervorgerufen wird. Er tritt sporadisch auf, etwa beim Türenschlagen oder durch Schritte von Personen in der Nähe.

Mit solchen Erschütterungen muß heute jederzeit und überall gerechnet werden. Deswegen erscheint die dürftige Behandlung des Problems in der Literatur erstaunlich. Häufig wird nur die erschütterungsfreie Aufstellung der Apparatur ohne

weitere Erklärung gefordert (PETERFI, 29; MICHEL, 25; SCHÜLLER, 38; FREUND, 13).

Am empfindlichsten sollen nach SHILLABER (4o) Vertikalkameras auf Erschütterungen reagieren. BURRELS (7) gibt als häufigste Ursache für die Relativbewegungen zwischen zwei Körpern die Anordnung an, bei der ein schwerer Körper von einer dünnen Strebe getragen einem feststehenden Körper gegenübersteht.

Diese schwingungslabile Anordnung ist in der herkömmlichen Aufsetzkamera mit schwerem Grundkörper auf normalem Phototubus verwirklicht. BURRELS bemerkt dazu: "Wird gegen ein Gewicht auf einer dünnen Stahlstange geklopft, schwingt es weiter mit einer Geschwindigkeit abhängig vom Gewicht und der Elastizität des Trägers, aber in erster Linie (abhängig) von Gewicht und Länge des Hebels. Die Dauer der Schwingung hängt auch von der Größe des Impulses ab. Das Problem ist vielschichtig." Er fordert, keine Apparate oben auf dem Mikroskop zu befestigen. Die Trennung von Mikroskop und Kamera fordern auch DYBKAER (1o), V. FRANKENBERG (14), METZNER (23), STADELMANN (43) und TRÖTHANDEL (47).

BENEDICKS und WALLDOW (4) fanden am Reichert'schen Metallmikroskop als Ursache für starke Erschütterungsempfindlichkeit große Massen und große Hebellängen. Bloßes Berühren ließ das Bild mit großer Amplitude und geringer Dämpfung zittern. Wurden die langen Hebel entfernt, zitterte das Bild mit großer Amplitude und starker Dämpfung, während eine Vergrößerung der Masse des Objekttisches durch zusätzliches Gewicht wieder den umgekehrten Effekt ergab.

ALLEN (1) hält die Trennung zwischen Kamera und Mikroskop für die schlechteste Anordnung überhaupt, wenn sie nicht in einem von Erschütterungen völlig freien Raum steht, denn Schwingungen von Mikroskop und Kamera zusammen sollen nach

seiner Auffassung ohne qualitätsmindernden Effekt bleiben. Dagegen hält es LOVELAND (21) nicht für möglich, daß Schwingungen produzierende Teile einer mikrophotographischen Einrichtung so verbunden werden können, daß dabei keine Relativbewegungen der einzelnen Teile zueinander auftreten, "wahrscheinlich wegen der dem Gerät eigenen Elastizitäten".

Am schwingungsunempfindlichsten gebaut sind die Photomikroskope, da bei ihnen infolge ihrer kompakten Konstruktion keine langen Hebel auftreten.

Gebäudeerschütterungen sind stets am geringsten im Untergeschoß, möglichst weit weg von schwingungserzeugenden Maschinen, von schwerem Straßen- und Schienenverkehr (DYBKAER, 1o; MARTIN und JOHNSON, 22; WHITE, 48). ANGENHEISTER und SCHNEIDER (2) maßen im ersten Stock eines untersuchten Gebäudes den zwei- bis fünffachen, im zweiten Stock den zehn- bis zwanzigfachen Wert der Bodenerschütterung. Die mikrophotographische Einrichtung sollte auf festem Boden (MICHEL, 25) aufgestellt sein; dabei ist Steinboden einem Holzboden vorzuziehen und eine Verankerung in der Wand besser als eine Aufstellung in der Mitte des Zimmers (HIND and RANDLESS, 16; TRÖTHANDEL, 47; VOSZ, 45).

SHILLABER (4o) schreibt: "Die grundsätzliche Theorie zur Vermeidung von Erschütterungen ist, zwischen die Quelle der Erschütterung und das Mikroskop ein Material zu legen, das die Schwingungen absorbiert. Als Zwischenlage wird Gummi empfohlen (SHILLABER, 4o; HIND and RANDLESS, 16), Kork (SHILLABER, 4o; BURRELS, 7), Teppichfilz (HIND and RANDLESS, 16; OELZE, 28), hochdruckgepreßter Schaumgummi (ALLEN, 1; LOVELAND, 21) und vieles andere mehr.

Auf diese Zwischenlage soll eine Unterlage für das Mikroskop gebracht werden, die eine große Masse besitzt (ALLEN, 1; LOVELAND, 21; SHILLABER, 4o).

BENEDICKS und SEDERHOLM (3) und BEREK (5) beschreiben Anordnungen zur Erschütterungsdämpfung, die Bestandteil des großen Metallmikroskops von C. Zeiss bzw. der Horizontalkamera von E. Leitz sind. DYBKAER (1o) gibt einen Aufbau "mit leichtem Zugang zur Apparatur und bequemem Wechsel der Schwingungsdämpfer" an, die in den Fußboden eines Kellerraumes eingelassen werden kann und sich in der Mikrokinematographie und auch bei Zeitrafferaufnahmen bewährt hat, wo sich Erschütterungen bekanntlich besonders deutlich auswirken.

Erschütterungen, die vom eingebauten Kameraverschluß ausgehen, können durch Verlängerung der Belichtungszeit unwirksam gemacht werden (GIMESI, 15; LOVELAND, 21; SCHÄFER, 36; VOSZ, 45) oder durch die Herausnahme des Verschlusses aus dem Abbildungs- in den Beleuchtungsstrahlengang (SCHÄFER, 36, VOSZ, 45). Nach Manipulationen empfiehlt MICHEL (25), zweimal so lange zu warten, wie belichtet werden soll und erst nach erneuter Schärfenkontrolle zu belichten.

Zum Erkennen von Erschütterungen sind in der Seismologie verschiedene Arten von Seismometern entwickelt worden. Ein derartiges Gerät dürfte dem Mikroskopiker kaum zur Verfügung stehen. LOVELAND (21) und SHILLABER (4o) geben deshalb ein leicht, schnell und billig herzustellendes Hilfsseismometer an. Dessen Wirkung beruht auf der außerordentlich großen Erschütterungsempfindlichkeit der gespannten Oberfläche eines Wassertropfens, der seine Unterlage nicht benetzt (siehe C 1.3).

Unscharfe Aufnahmen können auch dadurch entstehen, daß bei der Belichtung der Tubus infolge einer zu leicht gängigen Einstellung des Grobtriebs absinkt (GIMESI, 15; LOVELAND, 21; SCHÄFER, 36), oder daß Veränderungen im Gerät durch thermische Verformung während des Aufheizens durch die Beleuchtungseinrichtung in der ersten Zeit nach Inbetriebnahme

auftreten. PETERFI (29) weist darauf hin, daß "konzentriertes Licht zu Verschiebungen des Präparats" führen kann, gibt aber nicht näher an, wie dies vor sich gehen soll.

B FRAGESTELLUNG

Aus den bisher vorliegenden Untersuchungen und Beobachtungen ergibt sich eine ganze Reihe von Fragestellungen, von denen folgende in dieser Arbeit behandelt werden sollen:

Die Beeinträchtigung der Bildschärfe einer mikrophotographischen Aufnahme durch einen auf die Standfläche des Mikroskops einwirkenden Impuls in Abhängigkeit von

a) der Größe des Impulses,

b) der Richtung des Impulses zur mechanischen Achse des Mikroskops und

c) der Anordnung der mikrophotographischen Einrichtung.

Bei der Untersuchung dieser Fragestellung trat bei dem verwendeten Mikroskop ein zusätzlicher, die Bildschärfe beeinflussender Effekt auf, der bisher noch nirgends erwähnt ist und deshalb genauer untersucht wurde. Diese ergänzenden Beobachtungen werden in einem besonderen Kapitel nach der Diskussion der Ergebnisse behandelt.

C METHODIK

Erschütterungen der Umgebung versetzen über die Standfläche die mikrophotographische Einrichtung in Schwingungen, und als Folge davon führen einzelne Teile derselben Relativbewegungen zueinander aus. Diese können mechanisch oder optisch registriert werden. Für die Mikrophotographie sind in erster Linie solche Relativbewegungen interessant, die das Präparat und das Objektiv gegeneinander ausführen.

Der Teil der Apparatur zwischen Objektiv und Okular kann, zumindest in den in der Praxis wirksam werdenden Dimensionen, als mechanisch stabil angesehen werden. Auch Relativbewegungen zwischen Okular und Filmebene wirken sich normalerweise nicht aus. Dies beruht einerseits darauf, daß im Fall der Aufsetzkamera das Kameraobjektiv mit der Filmauflage weitestgehend starr verbunden ist. Andererseits besteht zwischen Okular und Kameraobjektiv paralleler Strahlengang. Daher können Relativbewegungen zwischen diesen beiden optischen Elementen nur dann einen Effekt zeigen, wenn es sich um (mechanisch prinzipiell unwahrscheinliche) Winkelbewegungen gegen die optische Achse handeln würde. Bei Anordnungen ohne Kameraobjektiv, bei denen (wie zum Beispiel meistens bei Balgenkameras für Großformat) das Mikroskopokular als Projektiv benützt wird, gehen Relativbewegungen zwischen diesem und der Filmebene nur mit dem direkten geometrischen Wert ein, also nicht mit dem Abbildungsmaßstab multipliziert wie bei Relativbewegungen zwischen Objektiv und Objekt. Sie können deshalb im Hinblick auf ihre Größenordnung in der Praxis in aller Regel vernachlässigt werden.

Von den eine Unschärfe verursachenden Relativbewegungen sind selbstverständlich nur solche von praktischer Bedeutung, die auf Grund der Intensitätsverhältnisse und der Auswirkungsdauer innerhalb der Expositionszeit vom Filmmaterial sichtbar aufgezeichnet werden. Es erscheint des-

wegen praxisgerecht, die Auswirkungen der Erschütterungen auf das Bild in diesem selbst festzuhalten und auszuwerten. Dadurch erhält man eine Aussage, unter welchen Verhältnissen eine Minderung der Bildqualität oder völlig unbrauchbare Bilder entstehen.

Für den Aufbau der Untersuchungsanordnung, mit deren Hilfe die Wirkung der von außen angreifenden Impulse photographisch untersucht werden soll, werden in der Mikrophotographie gebräuchliche Einrichtungen verwendet.

Zufällig von außen eintretende Impulse oder solche, die durch Manipulationen am System selbst oder während des Funktionsablaufes entstehen, müssen dabei durch einen geeigneten Aufbau und zweckentsprechende Handhabung sicher vermieden werden können.

Für den die Schwingung erzeugenden Impuls gilt, daß seine Parameter, nämlich Größe und Richtung, sowie Ort der Einwirkung auf die mikrophotographische Einrichtung konstant und reproduzierbar sein müssen; Größe und Richtung sollen jedoch für verschiedene Versuchsreihen variierbar sein.

Der Versuchsaufbau gliedert sich in drei Teile (Bild 4):

a) die mikrophotographische Einrichtung auf einem erschütterungsdämpfenden Unterbau

b) die Beleuchtungseinrichtung

c) den Impulserzeuger.

Dieser Aufbau wurde bei allen Versuchen verwendet.

1 Mikrophotographische Einrichtung und Unterbau

Die mikrophotographische Einrichtung besteht aus Kamera und Mikroskop; die drei untersuchten Anordnungen unterschieden sich nur in der Art der Verbindung zwischen Kamera und Mikroskop. Dabei wurde eine Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung von Kamera und Mikroskop mit einem monokularen Phototubus, eine solche mit einem geraden Phototubus mit größerem Außendurchmesser sowie schließlich eine Anordnung verwendet, bei der Kamera und Mikroskop mechanisch voneinander getrennt waren.

Mikroskop:	Zeiss Standard GFL
Objekttisch:	Kreuztisch mit beidseitigem Koaxialtrieb, Carl Zeiss
Objektive:	Planapo 25/o,63 Plan 1oo/1,25 Öl
Kondensor:	Hellfeld-Phasenkontrastkondensor Zeiss IV Z/7 465272 auf Stellung I (Hellfeld) Apertur ohne Frontlinse o,32 Frontlinsen apl o,63 apl 1,4
Okulare:	Kpl 8 mal für die subjektive Beobachtung Kpl 12,5 mal für die Mikrophotographie
Tubus:	gerader Phototubus mit monokularem Schrägeinblick, im folgenden als monokularer Phototubus bezeichnet
Grundkörper:	II Carl Zeiss (476o11) mit Einstellokular und aufgesetztem Einstellfernrohr 3 mal, Ernst Leitz
Kameragehäuse:	Kameraansatz 24 mal 36 mm (vereinfachtes Contarexgehäuse)
Lichtmeßgerät:	Lichtmeßgerät II (4742o1) Carl Zeiss

Bei der Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera und mit Geradtubus wurde anstelle des monokularen Phototubus der mechanisch stabilere gerade Phototubus von Carl Zeiss (473023) verwendet. Die obige Anordnung blieb unverändert.

Bei der Anordnung mit mechanischer Trennung von Kamera und Mikroskop war auf dem monokularen Phototubus oben eine Lichtabschlußmanschette angebracht. Das Gegenstück hierzu, ein in diese eintauchender Lichtabschlußring, ist mit Klebwachs von unten am Grundkörper befestigt. Grundkörper und Kamera sind über ein Winkeleisen an ein Vierkantstahlrohr geklemmt, das an fest in die Wand eingelassene Träger geklemmt ist und quer über den Tisch verläuft, so daß der Grundkörper genau koaxial über dem Mikroskop in der Mitte der Basisplatte hängt.

Die übrige Anordnung blieb unverändert.

1.1 Impulsrichtung

Wenn die Richtung des Impulses zur mikrophotographischen Einrichtung verändert werden soll, genügt es und ist auch einfacher, das Mikroskop mit der Kamera auf der Basisplatte zu drehen und den Impulserzeuger stets an derselben Stelle zu belassen.

Da das Mikroskop bilateralsymmetrisch aufgebaut ist, interessieren nur Änderungen der Impulsrichtung zwischen 0° und 180°; für Impulsrichtungen zwischen 180° und 360° sind entsprechende Ergebnisse wie bei den Richtungen zwischen 180° und 0° zu erwarten.

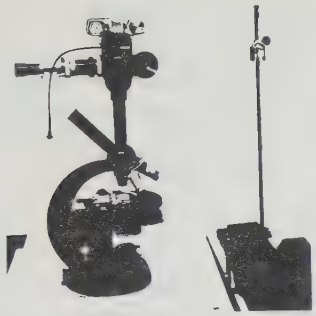


Bild 1a 0°

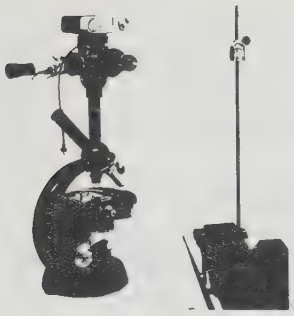


Bild 1b 45°

Bild 1c 90°

Bild 1d 135°

Bild 1e 180°

Bild 1

Impulsrichtungen

In der Bildfolge der Abbildung ist der Beobachter immer auf der konvexen Seite des Tubusträgers zu denken.
Bei der Richtung 0° (Bild 1a) kommt der Impuls auf den Mikroskopbenutzer zu. Das Licht muß dann in 90° dazu herangeführt werden, da das Mikroskopstativ den Spiegel verdecken würde.
Die Richtung 180° (Bild 1o) ist so definiert, daß der Impuls von der Betrachterseite kommt. Das Licht wird von der Gegenseite herangeführt, so daß Impuls, Licht- und Mikroskopachse auf einer Geraden liegen. Das Einstellfernrohr wird hierbei geringfügig verdreht, damit man an der Fallstange des Impulserzeugers vorbei in das Fernrohr einblicken und die Schärfe kontrollieren kann.

Die Zwischenrichtungen 135°, 90°, 45° erreicht man durch Drehen des Systems auf der Basisplatte um 45° aus der Richtung 180° in Richtung 0°.

1.2 Unterbau

Um zufällige Erschütterungen aus der Umgebung zu vermeiden, wurde die gesamte Einrichtung in einem Kellerraum des Instituts aufgestellt, da das Untergeschoß den erschütterungsärmsten Ort eines Gebäudes darstellt (WHITE, 48; MARTIN and JOHNSON, 22). Obwohl der Kellerboden aus einer dicken Schicht Beton besteht, wurde die Einrichtung doch möglichst nahe der Wand in einer Ecke des Raumes aufgestellt.

Als Standplatz für die mikrophotographische Einrichtung diente ein Tisch aus einem verschweißten Stahlrohrrahmengerüst mit einer schweren gußeisernen Richtplatte als Tischfläche. Ein höhenverstellbarer Tischfuß bewirkt einen kippfreien Stand des Tisches, vier verstellbare Auflagen für die Richtplatte lassen deren genaue Ausrichtung in der Waagrechten zu. Die Maße der Platte sind 80 x 78 cm, ihr

Gewicht beträgt ca. 2oo kg. Auf der Richtplatte ist mit vier starken Schraubzwingen eine 2 cm dicke Spanplatte, 78 x 45 cm festgeklemmt, die auf vier Schwingmetallkörpern (25356 1-16) eine weitere, beidseitig kunststoffbeschichtete Spanplatte, 45 x 45 cm, die sogenannte Basisplatte, trägt. Auf dieser steht das Mikroskop.

An der Basisplatte ist an der einen Seite zur Aufnahme des Impulses eine Messingleiste durch Verkleben und Verschrauben befestigt. Die Schwingmetallkörper sind mit der unteren und der Basisplatte fest verschraubt.

Diese Anordnung soll bewirken, daß eventuell auftretende Erschütterungen aus der Umgebung von der großen Masse des Tisches absorbiert werden, die Standfläche der mikrophotographischen Einrichtung jedoch gegenüber der großen trägen Masse des Tisches leicht in definierte Schwingungen versetzt werden kann.

1.3 Erschütterungsempfindlichkeit des Unterbaus

Die Erschütterungsempfindlichkeit des Unterbaus wurde in einem Versuch nach SHILLABER (4o) untersucht.

Auf einem Objektträger wird ein Ring aus Fett aufgebracht. In diesen Ring tropft man Wasser ein, bis infolge der Oberflächenspannung eine halbkugelige Oberfläche entsteht, auf die feine Rußflöckchen aufgestreut werden.

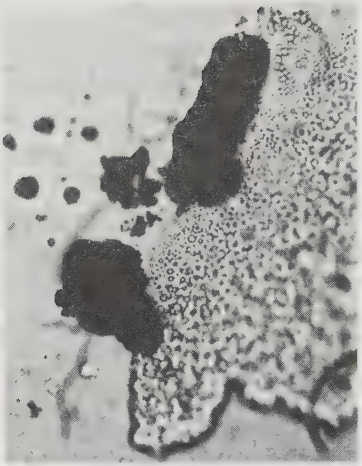


Bild 2a Testobjekt, Rußflöckchen auf Wasseroberfläche, absolute Ruhe

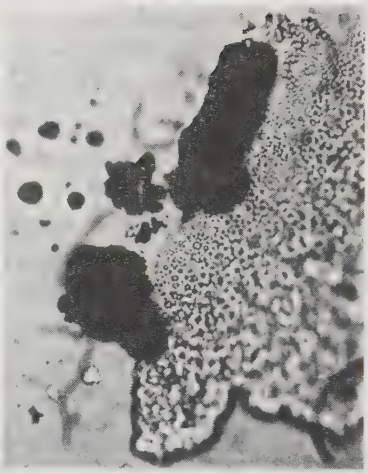


Bild 2b Testobjekt bei Impuls von 1,9 mkg/sec senkrecht auf den Fußboden, in Raummitte

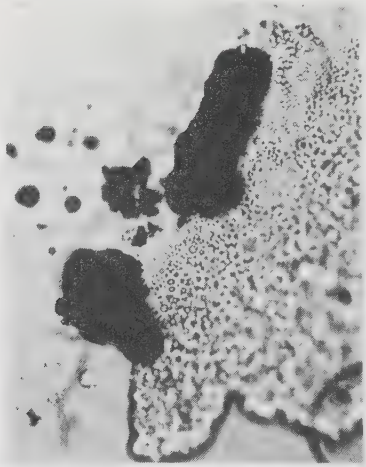


Bild 2c Testobjekt bei Impuls von 1,9 mkg/sec senkrecht auf den Fußboden, unmittelbar vor dem Aufbau

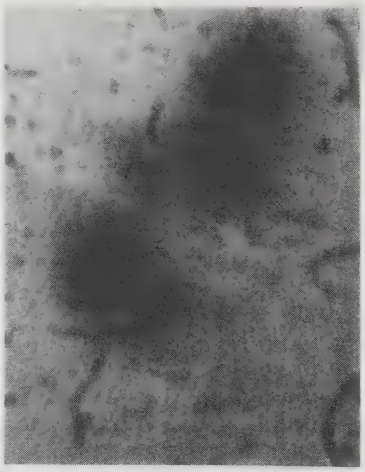


Bild 2d Testobjekt bei Impuls von 0,085 mkg/sec an die Basisplatte

Dieses Objekt betrachtet man durch das Mikroskop. SHILLABER hält diese Testmethode für so empfindlich, daß sie für die Praxis schon nicht mehr geeignet ist. Tatsächlich kann dieses Objekt nicht mehr auf die übliche Art und Weise scharfgestellt werden, da vorsichtiges Drehen an der Feineinstellung des Mikroskops das Bild mit so großer Amplitude erzittern läßt, daß keine Einzelheiten mehr erkennbar sind. Man muß eine feste Einstellung nach Abklingen der Schwingungen auf Schärfe kontrollieren und oft nachstellen. Während der Schärfenkontrolle ist jedes Berühren der Apparatur unmöglich, sogar das bloße Atmen vor dem Mikroskop läßt das Bild schon erzittern.

Wegen der halbkugeligen Oberfläche des Objekts wurde das Objektiv 25/o,63 für die Testaufnahmen gewählt, um den nötigen Abstand zum Objekt zu gewährleisten.

Während einer Zeit absoluter Ruhe in der Umgebung wurden scharfe Bilder hergestellt (Belichtungszeit 1/2 Sekunden, Bild 2a). Ein Bild mit einem Impuls von o,o85 mkg/sec an die Basisplatte läßt wegen dem starken Bildzittern kaum Strukturen erkennen (Bild 2d), während Bilder, bei denen Impulse der Größe 1,9 mkg/sec auf den Fußboden einwirkten (Bild 2b, c), gestochen scharf waren. Derartig große Impulse treten sonst nie in der Umgebung auf. Es darf also als sicher angenommen werden, daß der benützte Unterbau zufällige Erschütterungen zuverlässig absorbiert.

1.4 Fokussierung

Eine Veränderung der Schärfenebene nach Inbetriebnahme der Einrichtung infolge Erwärmung durch die Lichtquelle (ALLEN, 1; PETERFI, 29; SCHÜLLER, 38; VOSZ, 45) wurde nicht beobachtet, nachdem der unsichtbare Anteil der Strahlung ausreichend absorbiert wurde. Trotzdem konnte erst eine halbe Stunde nach Einschalten mit den Versuchen begonnen werden, da sich bei

dem benützten röhrenbestückten Lichtmeßgerät erst zu diesem Zeitpunkt ein thermisches Gleichgewicht und somit eine stabile Anzeige einstellte.

Die Einstellung der Bildschärfe erfolgte stets durch das Einstellfernrohr am Grundkörper.

Eine Kontrolle der Schärfe war nach jeder Aufnahme erforderlich, da durch Manipulationen am Gerät, zum Beispiel zum Weitertransport des Films (VOSZ, 45) oder das Verschieben des Prismas im Grundkörper (STEHLE, 41) eine Defokussierung hervorgerufen werden kann.

1.5 Abbildungsmaßstab und Bildschärfe

Da die lateralen Relativbewegungen zwischen Objektiv und Objekt in der Zwischenbildebene um die Maßstabszahl des Objektivs vergrößert wirksam werden, treten bei starken Vergrößerungen erkennbare Unschärfen eher auf als bei schwachen. Grundsätzlich muß dabei noch beachtet werden, daß der Abbildungsmaßstab des "Endbildes", also des photographischen Positivs, innerhalb des Bereichs des nutzbaren Abbildungsmaßstabes liegt (MICHEL, 25, p. 63). Dieser liegt für eine Betrachtungsentfernung von 250 mm zwischen dem 500 und 1000fachen Wert der Objektivapertur.

Der bei den beschriebenen Untersuchungen gewählte Abbildungsmaßstab von 625:1 mit dem Objektiv 100/1,25 Öl ist ausreichend, um Unschärfen deutlich erkennbar zu machen und liegt im nutzbaren Bereich.

Eine Aufnahme wird dann als unscharf bezeichnet, wenn die Unschärfe beim Betrachten mit bloßem Auge erkennbar ist. Der bestimmende Faktor für dieses Erkennen ist das Auflösungsvermögen des Auges des Betrachters.

Die Netzhaut des menschlichen Auges in der Sehgrube löst etwa eine Bogenminute auf (KEIDEL, 19); das heißt, das zwei Punkte im Abstand einer Bogenminute vom Auge noch getrennt wahrgenommen werden. Für einen Betrachtungsabstand von 25 cm - der Bezugssehweite - ergibt sich für die beiden Punkte eine Distanz von o,o7 mm, praktisch o,1 mm.

Bewegt sich bei der Aufnahme das Objekt und wird eine Konturlinie im Bild trotz dieser Bewegung mit einer Ausdehnung von weniger als o,1 mm dargestellt, das heißt, ist die "Zone der Randunschärfe" (HNATEK, 17) kleiner als o,1 mm, so erscheint die Konturlinie scharf.

Bedarf das Negativ wie im Falle der Kleinbildphotographie einer nachträglichen Vergrößerung um das dreifache, darf die Zone der Randunschärfe im Negativ höchstens o,o33 mm betragen, wenn die Aufnahme im Positiv noch als scharf erkannt werden soll.

2 Beleuchtungseinrichtung

Die Beleuchtungseinrichtung und der Verschluß wurden mechanisch getrennt von der mikrophotographischen Einrichtung aufgebaut, um Erschütterungen, die vom in der Kamera fest eingebauten Verschluß ausgehen (VOSZ, 44), zu vermeiden.

Alle Teile des Beleuchtungssystems sind auf Reitern einer optischen Bank festgeschraubt, die über ein Gelenk am Tisch mit dessen Stahlrohrrahmen fest verbunden ist. Das Gelenk läßt Kippungen in vertikaler Richtung zu. Das andere Ende der Bank wird von einem in der Höhe verstellbaren Träger gehalten. Die Bank ist so am Tisch befestigt, daß das Lichtbündel auf den Spiegel des Mikroskops fällt, wenn dieses gerade in der Mitte der Basisplatte steht.

Lampe: Universalleuchte mit Bandlampe 6V/18A
Wild, Heerbrugg/Schweiz

Kollektor: Sammellinse, Brennweite 125 mm, mit angebauter Iris-Blende

Als Verschluß wurde ein elektrischer Rotationsverschluß von Carl Zeiss verwendet, an dem ein Filterrevolver für Lichtfilter mit Durchmesser 32 mm befestigt war. Der Verschluß wird über die elektrische Ansteuerung betätigt, die auch den Fallkörper am Impulserzeuger zum Fall freigibt.

Damit die Wärmestrahlung der Universalleuchte den Verschluß nicht beschädigt, wurden zwischen Leuchte und Verschluß zwei Glasküvetten mit einem grünen Flüssigkeitsfilter nach ROMEIS (34) von je 5o mm Schichtdicke eingefügt.

3 Impulserzeuger

Der Impulserzeuger dient dazu, Impulse bestimmter Größe zu erzeugen und durch deren Übertragung auf die Basisplatte des Mikroskops eine definierte Erschütterung hervorzurufen. Dazu fällt ein zunächst elektromagnetisch gehaltener Fallkörper aus einer bestimmten Höhe auf ein drehbar gelagertes Winkelstück, das den Vektor des Impulses um 9o° dreht und ihn so auf die Basisplatte überträgt. Durch Veränderung der Fallhöhe kann die Größe des Impulses variiert werden.

Auf einem als Stahlrohrrahmen mit Holzplatte ausgeführten zweiten Tisch, der neben dem Tisch mit der mikrophotographischen Einrichtung steht, ist der Impulserzeuger so festgeklemmt, daß sein Impulsüberträger gerade auf die Mitte der an die Basisplatte geschraubten Messingleiste zielt. Für einen kippfreien Stand des Tisches sorgen auch hier ein höhenverstellbarer Fuß und Beschwerung mit Metallteilen (ca. 1oo kg).

Die Bodenplatte des Impulserzeugers ist fest mit einem Eisen-T-Träger verschraubt, der mit zwei Schraubzwingen an dem Tisch festgeklemmt ist.

Der Impulserzeuger besteht aus fünf Hauptteilen (siehe Bild 3): Fallstange (1), Elektromagnet (3), Winkelstück (5), Bodenplatte (9), Halterung (1o).

Die Fallstange (1) ist in ein Gewinde der Bodenplatte eingeschraubt und verläuft durch eine runde Bohrung im horizontalen Ast des Winkelstücks (5). Auf ihr ist mittels einer Rändelschraube der Elektromagnet (3) verschiebbar festgeklemmt, der nach Abschalten des Haltestroms den Fallkörper (4) zum Fall freigibt.

Der Fallkörper (4) ist eine ringförmige Scheibe aus Messing mit einem Eisenmantel. An der Unterseite ist eine dünne Kartonscheibe aufgeklebt. Nach dem Fall schlägt er auf dem Winkelstück (5) auf, das aus zwei gleichlangen, unter 9o° verschweißten Flacheisen besteht. Die Nullage wird durch eine Feder (6) zwischen der Hülse (7) und der Fallstange (1) eingehalten. Am unteren Ende des vertikalen Teils des Winkelstücks sitzt der Impulsüberträger (8), ein in Metall gefaßter Kunststoffknopf.

Das Winkelstück wird von zwei mit der Bodenplatte (9) verschweißten Winkeleisen (1o), der Halterung, getragen und ist in einer Achse (11) leicht drehbar gelagert.

Bei der Aufstellung des Impulserzeugers muß beachtet werden, daß eine Aufstellung auf demselben Tisch zusammen mit der mikrophotographischen Einrichtung eine Übertragung von Schwingungen nicht nur über den Impulsträger, sondern auch über die Tischplatte zur Folge hätte. So entstünde nicht die einfach gedämpfte Schwingung, sondern undefinierte Schwingungen, wie visuell deutlich durch das Einstellokular

beobachtet werden konnte.

Zur Vermeidung von Impulswiederholungen mußten weitere Vorkehrungen getroffen werden. Die zur Einhaltung einer Mittellage des Winkelstücks notwendige Feder wirft nach dem Aufschlagen des Fallkörpers auf das Winkelstück diesen und auch das Winkelstück um einen gewissen Betrag nach oben zurück. Kurz darauf fallen Fallkörper und Winkelstück wieder nach unten und komprimieren die Feder um ein kleines Stück. Um gerade etwas mehr als diesen Betrag müssen Impulsüberträger und Basisplatte auseinandergerückt werden, wenn der zweite Impuls nicht mehr auf die Basisplatte übertragen werden soll. Die Reflektion des Fallkörpers durch das Winkelstück kann durch die Kartonscheibe fast völlig gedämpft werden.

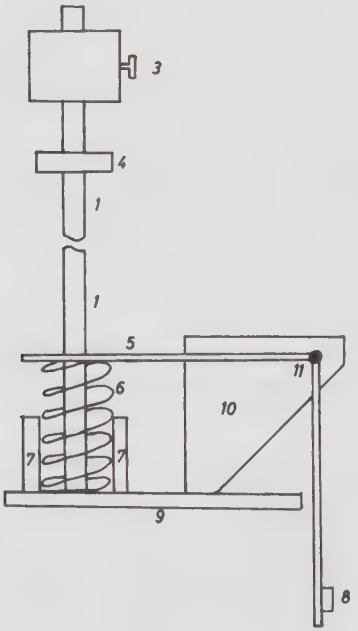


Bild 3 Impulserzeuger schematisch

Die Ansteuerelektronik koordiniert die Auslösung der mechanischen Impulse mit der Steuerung der Belichtungszeit. Nach Druck auf den Auslöser wird mit Hilfe einer Zeitschaltung 4o ms später der Strom des Haltemagneten unterbrochen und so der Fallkörper freigegeben. Durch diese Verzögerung ist es möglich, den Beginn der Verschlußöffnung mit Hilfe einer zweiten Zeitschaltung vor oder nach der Auslösung des Fallkörpers erfolgen zu lassen. Mit einem Regler ist dieser Zeitbereich von o - 125o ms zwischen Druck auf den Auslöser und Verschlußöffnung einzustellen. Im linearen Teil der 42teiligen Reglerskala (2 - 38 Skt.) entspricht ein Skalenteil etwa 4o ms. Von dieser Schaltung wird eine dritte Zeitschaltung gesteuert, die anschließend die Dauer der Offenzeit des Verschlusses, also die Belichtungszeit, im Bereich von o,o5 bis 5 Sekunden einzustellen gestattet.

Mit Hilfe des ersten Reglers wird die Vorlaufzeit T_V eingestellt, und zwar so, daß der mechanische Impuls auf das Mikroskopstativ und die Öffnung des Verschlusses synchron erfolgen. Eine Änderung der Impulswerte durch Verstellung der Fallhöhe erfordert jedesmal eine entsprechende Änderung der Vorlaufzeit, um die Synchronität von Impuls und Verschlußöffnung sicherzustellen.

Der zweite Regler bestimmt die Dauer der Belichtung T_B.

Erläuterungen zu Bild 4

1 Lichtquelle
1a Verbindungskabel Lichtquelle zu Netzgerät
2 Kollektor mit Blende
3 Flüssigkeitsfilter
4 Rotationsverschluß
4a Verbindungskabel Verschluß zu Ansteuerung
5 Basisplatte
6 Mikroskop
7 Grundkörper der Aufsetzkamera
7a Verbindungskabel Grundkörper zu Lichtmeßgerät
8 Kameraansatz zur Aufsetzkamera
8a Drahtauslöser
9 Impulserzeuger
10 Impulsüberträger
11 Fallkörper
12 Haltemagnet
12a Verbindungskabel Haltemagnet zu Schaltelektronik
13 Lichtmeßgerät
14 Schaltelektronik
15 Verschlußansteuerung
16 Netzgerät für die Lichtquelle
17 optische Bank
18 Tisch für mikrophotographische Einrichtung
19 Tisch für Impulserzeuger

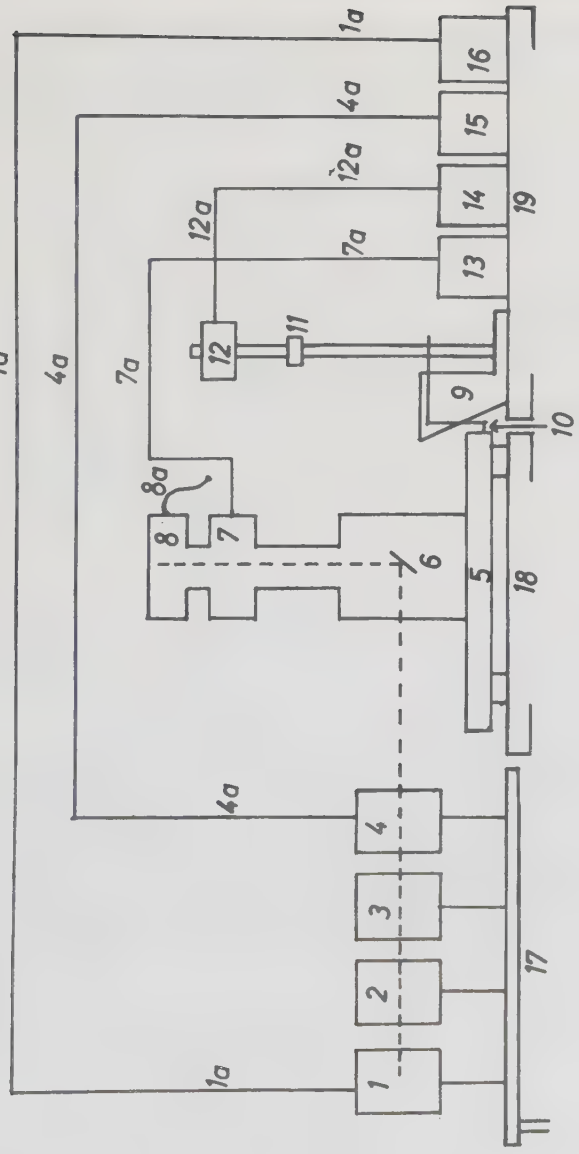


Bild 4 Versuchsaufbau schematisch

3.1 Bestimmung der Impulsgröße

Die Größe des Impulses, der schließlich die Basisplatte und damit die mikrophotographische Einrichtung erreicht, wird bestimmt durch die (variable) Fallhöhe des Fallkörpers, dessen (konstantes) Gewicht und den (variablen) Abstand des Impulsüberträgers zur Basisplatte. Dieser wird mit einer Fühlerblattlehre eingestellt.

Der Impuls ist definiert als Masse multipliziert mit der Geschwindigkeit: $P = m \cdot v$. Wenn der Fallkörper auf den horizontalen Teil des Winkelstücks aufschlägt, teilt er diesem den Impuls P' mit. Da das Winkelstück nicht nur die Richtung des Impulses um 90 Grad dreht, sondern da auch die Geschwindigkeit des Impulsüberträgers beim Durchlaufen des Abstands zur Basisplatte von der Nullagefeder gebremst wird, teilt das Winkelstück mit seinem Impulsüberträger der Basisplatte nur noch den Impuls P mit, der um den Impuls P'' kleiner ist als P'. P' läßt sich aus der Fallhöhe und der Masse des Fallkörpers ermitteln. P'' ist derjenige Impuls, der dem Winkelstück mitgeteilt werden muß, um es gerade bis an die Basisplatte vorzutreiben. P'' wird ebenfalls experimentell aus der zugehörigen Fallhöhe ermittelt. Der Impuls P, mit dem die Basisplatte wirklich angestoßen wird, ergibt sich dann aus der Differenz von P' und P'': $P = P' - P''$.

Die für die Untersuchung verwendeten Impulse sollten in einem vernünftigen Größenverhältnis zueinander stehen. Aus apparativen Gründen wurde das Verhältnis 1: $\sqrt{2}$:2 gewählt.

Tabelle 1

Fallzeit, Aufschlaggeschwindigkeit, Impuls des Fallkörpers von 43 g bei vorgegebener Fallhöhe, ohne Berücksichtigung von Reibung und Luftwiderstand

Fallhöhe	Fallzeit	Aufschlaggeschw.	Impuls	
cm	sec	m/sec	mkg/sec	
2	o,o6	o,63	o,o3	P''_1
4	o,o9	o,89	o,o4	P''_2
8	o,13	1,25	o,o5	P''_3
2o	o,2o	1,98	o,o9	P'_1
4o	o,29	2,8o	o,12	P'_2
8o	o,4o	3,96	o,17	P'_3

Tabelle 2

Größe der Impulse, die an die Basisplatte übertragen werden.
$P = P' - P''$

Impuls P an die Basisplatte	Höhe der Fallstange	Abstand des Impulsüberträgers	Verhältnis zu P_1
mkg/sec	cm	mm	
P_1 = o,o59	2o	2	1
P_2 = o,o82	4o	4	$\sqrt{2}$
P_3 = o,117	8o	8	2

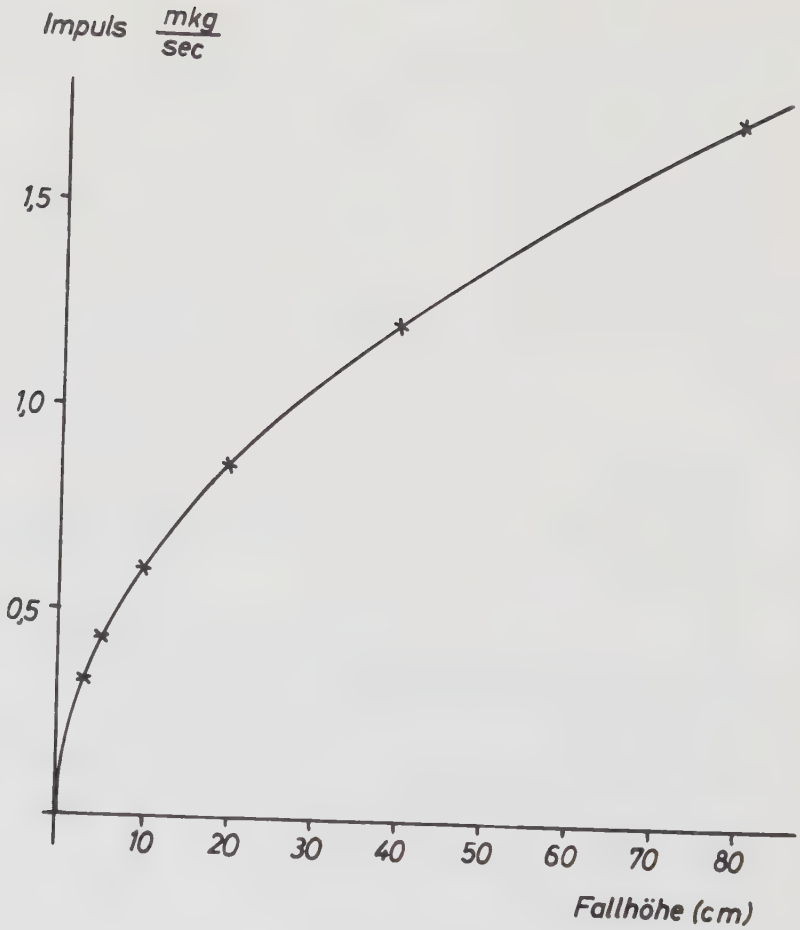


Bild 5 Impuls des Fallkörpers bei zugehöriger Fallhöhe

3.2 Einstellung des Impulserzeugers

Damit der Verschluß genau zu dem Zeitpunkt geöffnet wird, in dem der Impuls einwirkt, muß für jede eingestellte Fallhöhe die einzustellende Vorlaufzeit T_V ermittelt werden. Zur Festlegung der einzustellenden Skalenteile wurde bei maximaler Helligkeit und minimaler Belichtungszeit (ca. 1/2o Sek.) visuell im Einstellfernrohr geprüft, wann mit Sicherheit keine und wann mit Sicherheit eine Erschütterung bei verschieden eingestellter Vorlaufzeit sichtbar wurde. Wenn keine Erschütterung bemerkbar ist, so ist entweder der Fallkörper noch im Fallen, während die Belichtung abläuft - hier ist die Vorlaufzeit also zu kurz eingestellt (Bild 6a) - oder der Verschluß öffnet sich erst, wenn die Schwingungen des Mikroskops schon abgeklungen sind; dann ist die Vorlaufzeit zu lang (Bild 6e).

Innerhalb des Einstellbereiches der Vorlaufzeit, in dem Erschütterungen zu bemerken waren, wurden Aufnahmereihen hergestellt mit der kleinsten reproduzierbaren Stufung von 1/4 Skalenteilen des T_V-Einstellreglers.

Die Negative der Aufnahmereihen wurden in drei Gruppen eingeteilt:

1. scharfe Aufnahmen. Die Belichtung fand außerhalb der Schwingdauer des Mikroskopes statt (Bild 6, Fall a und e).

2. Aufnahmen mit leicher Unschärfe.
   a. Die Belichtungszeit beginnt schon vor der Impulseinwirkung, ein Teil der Aufnahme erfolgt bei noch ruhendem Mikroskop (Bild 6, Fall b).
   b. Die Belichtungszeit fällt in die abklingende Phase der Mikroskopschwingung (Bild 6, Fall d).

3. Aufnahme mit maximaler Unschärfe. Impulsübertragung und Verschlußöffnung erfolgen synchron. Die Belichtung erfolgt zum Zeitpunkt der stärksten Schwingung (Bild 6, Fall c).

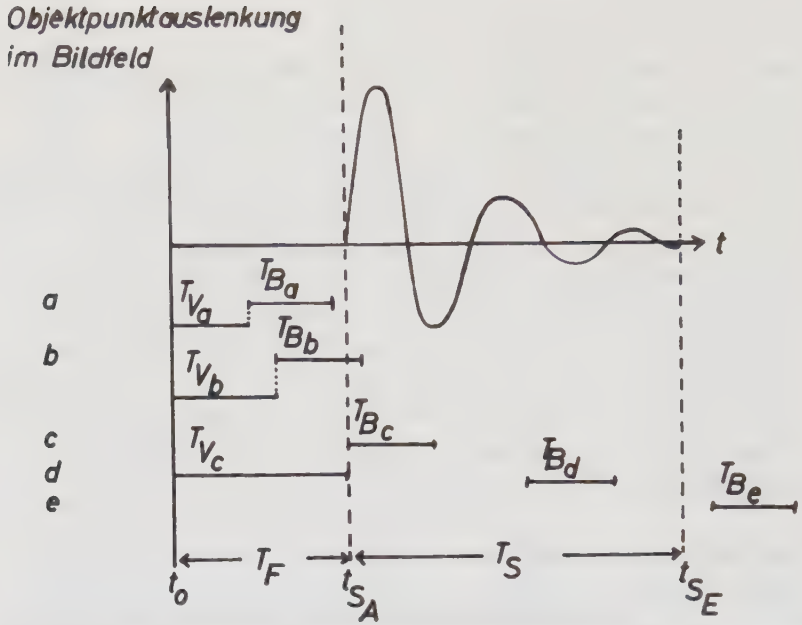


Bild 6 Zeitlicher Ablauf von Impulseinwirkung und Änderung der Vorlaufzeit für die Belichtung

Zeitpunkte:

- t_o Druck auf den Auslöser
- t_{SA} Impulseinwirkung auf das Mikroskop, Beginn der Mikroskopschwingungen
- t_{SE} Ende der feststellbaren Mikroskopschwingungen

Zeiten:

- T_F Zeit zwischen Auslösung und Impulseinwirkung (abhängig von der Fallhöhe des Fallkörpers)
- T_S Schwingzeit des Mikroskops
- T_B Meßbelichtungsdauer, hier konstant ca. 50 ms
- T_V Vorlaufzeit; die Zeit zwischen Auslösung des Fallkörpers und dem Beginn der Belichtung

Zur richtigen Einstellung von T_V gelangt man, indem man entweder von den unschärfsten Aufnahmen ausgeht und die dabei verwandte Vorlaufzeit T_{Vc} als richtig annimmt (Bild 6c), oder indem man von der ersten leicht unscharfen Aufnahme annimmt, daß die Erschütterung am Ende der 5o ms Belichtungszeit auf dem Film gerade noch wirksam geworden ist (Bild 6b), und dann zu der hierbei verwendeten Einstellung noch die den 5o ms entsprechenden Skalenteile addiert. Beide Methoden liefern übereinstimmende Ergebnisse.

Auf der Vorlaufszeiten-Skala (T_V) entspricht 1 Skalenteil = 4o ms. Reproduzierbar eingestellt werden kann 1/4 Skalenteil = 1o ms. Die reproduzierbare Genauigkeit für 1/4 Skalenteil beträgt 1o ms $\pm$ 5 ms. Wenn nun Helligkeitsunterschiede von 1/15o der Gesamtbelichtung noch auf dem Negativ dargestellt werden, ist die Einstellung für 1,5 sec Meßbelichtungsdauer bei konstanter Lichtintensität noch ausreichend genau.

Auch bei Aufnahmen mit einer Meßbelichtungsdauer von weniger als 1,5 sec konnte eine Unschärfe trotzdem in allen Fällen erkannt werden.

Für jeden halben Skalenwert der Skala der Meßbelichtungsdauer (T_B) wurde mit der Stoppuhr zehnmal die Offenzeit des Verschlusses bestimmt. Die Mittelwerte dieser Messungen gegen die Skalenteile aufgetragen, ergeben mit guter Nährung eine Gerade (Bild 7).

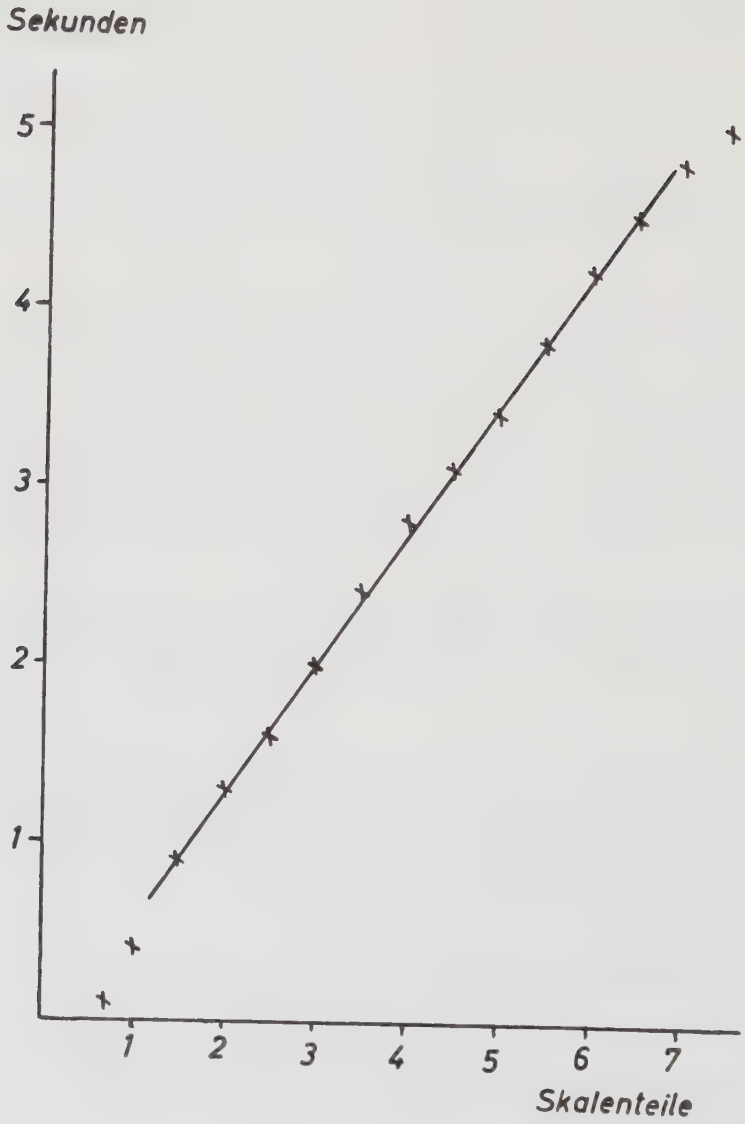


Bild 7 Kalibrierung der Skala der Meßbelichtungsdauer

4 Die photographische Darstellung von Schwingungen des Mikroskops

Die hier benützte Methode zur Schwingungsdarstellung entspricht weitgehend der bei VOSZ (45) beschriebenen. Sie wurde im Hinblick auf die andere Aufgabenstellung erweitert.

4.1 Das photographische Bild einer Bewegung

Um besser zu verstehen, wie eine Bewegung eines Objekts photographisch dargestellt werden kann, sollen einige Bemerkungen über grundsätzliche Zusammenhänge beim Entstehen eines photographischen Bildes vorausgeschickt werden.

Die Schwärzung einer photographischen Schicht hängt ab von der Intensität und der Einwirkdauer des auffallenden Lichtes. Das Produkt aus Intensität und Einwirkdauer bezeichnet man als Belichtung. Unterschiedliche Belichtungen bewirken unterschiedliche, der Belichtung proportionale Schwärzungen im Negativ.

Die Schwärzung wird definiert als Logarithmus des Verhältnisses von einfallendem zu austretendem Licht. Diese Maßstabsanwendung ist sinnvoll, da der Logarithmus dieses Verhältnisses ein Maß für den Empfindungsunterschied ist (MUTTER, 26).

Trägt man die Schwärzung in Abhängigkeit vom Logarithmus der Belichtung in ein Koordinatensystem ein, so erhält man eine Schwärzungskurve. Im mittleren Teil der Kurve besteht eine lineare Abhängigkeit, das heißt, die Schwärzung nimmt bei Verdoppelung der Belichtung immer um den gleichen Betrag zu, während sie sich an den Enden der Kurve bei geringer oder sehr starker Belichtung nur noch wenig ändert.

Die Steigung der Schwärzungskurve im Wendepunkt wird als γ-Wert bezeichnet (MUTTER, 76). Die Steigung und die Länge des geradlinigen Teils der Gradationskurve bestimmen die Größe des Belichtungsumfangs. Nimmt man den nutzbaren Schwärzungsbereich eines Negativmaterials mit 1,0 an, entspricht dies für Filme mit einem γ von 0,8 einem Belichtungsumfang von etwa 1:100. Schwärzungsänderungen im Negativ sind nur zu erkennen, wenn die Änderung der Belichtung, gleichgültig, ob durch Verändern von Intensität oder Expositionszeit, mindestens den 1oo-ten Teil der maximalen oder höchsten das 1oofache der minimalen Belichtung ausmachen.

Der auf das Positiv übertragbare Schwärzungsumfang von 1,0 ergibt bei Filmen mit einer Gradation von 0,8 einen logarithmischen Belichtungsumfang von 1,25. Das bedeutet, daß Helligkeitsunterschiede von 1:18 noch dargestellt werden. Der Belichtungsumfang beginnt mit dem praktischen Schwellenwert, der mit einer Dichte von 0,1 über dem Schleier liegt (FORMSTECHER, 12). Dieser wert liegt nach DIN 4512 (9) nur wenig über der geringsten darstellbaren Schwärzung eines normalen Kopiermaterials. Er endet dort, wo eine Steigerung der Schwärzung mit dem Auge nicht mehr erkennbar ist.

Das Bild einer um eine Nullage gedämpft schwingenden hellen Struktur, die in der Ruhelage maximal belichtet wird, stellt sich auf dem Negativ als breiter, doppelseitiger Graukeil dar. Beträgt die Auslenkung der Struktur nach einer Seite weniger als die Hälfte der Breite der Struktur, wird die Mitte des Graukeils mit der natürlichen Schwärzung der Struktur dargestellt. Ist die Breite der Struktur kleiner als die Auslenkung nach einer Seite, so liegt die Schwärzung des Graukeils in der Mitte unter dem maximal möglichen, natürlichen wert. Wird die Auslenkung sehr groß gegenüber der Breite, kann der Schwärzungsunterschied zum Untergrund unter den darstellbaren Schwellenwert fallen. Für die Praxis bedeutet dies, daß kleine Details bei Bewegungen völlig zum "Untertauchen in ihrer Umgebung" gebracht werden können (MUTTER, 7).

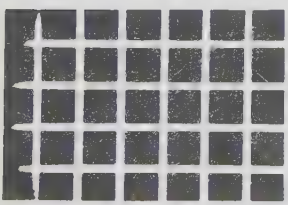
Bei größeren Details und geringer Auslenkung liegt der Beginn der Dichteänderung dort, wo durch die Struktur die maximale Lichtmenge auf diejenige Menge begrenzt wird, die gerade noch ausreicht, um im Negativ eine Schwärzung hervorrufen zu können. Dieser Punkt ist nicht identisch mit dem Punkt maximaler Auslenkung; diese kann durchaus noch größer sein.

Bei einem γ von o,8 und einer Schwärzung der Struktur von 1,o ergibt sich für die minimale Belichtung aus obengesagtem der Wert von 1/15o der Gesamtbelichtung. Alle Auslenkungen der Struktur gegenüber der Nullage, die diesen Wert nicht erreichen, werden photographisch nicht dargestellt.

Unterschreitet die Zone der Unschärfe, also der Bereich zwischen der geringsten und der maximalen Schwärzung der Struktur, den Wert o,1 mm, erkennt das Auge keine Unschärfe mehr, sondern stellt Schärfe fest (HNATEK,17; KEIDEL, 19).

4.2 Testobjekt zur Erschütterungsbestimmung

Als Objekt diente eine Kreuzgitterplatte mit der Gitterkonstanten von o,o3 mm, bei der die lichtdurchlässigen Spalten 5,5 µ breit waren. Bei einem Abbildungsmaßstab von 625:1 und 156,25:1 ergeben sich folgende Bilder:



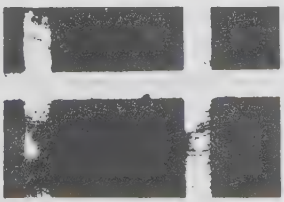


Bild 8a Bild 8b
Testobjekt, Kontaktkopien vom Negativ

Bei einer Gitterkonstanten von o,o3 mm können unter den Versuchsbedingungen wahrnehmbare Beugungserscheinungen ausgeschlossen werden.

4.3 Filmmaterial und Verarbeitung

Zur deutlichen Darstellung von Unschärfen bei Testaufnahmen sollte Feinkornfilm verwendet werden (LOVELAND, 21). Bei unseren Versuchen wurde das panchromatische Material Agfapan 25 verwendet.

Die Schwärzung lichtempfindlicher Schichten hängt ab von der Emulsion, dem Grad der Exposition, der Entwicklungszeit, Temperatur und Art des Entwicklers, dem Modus des Entwickelns sowie von der Beleuchtung (FORMSTECHER, 12).

Da die Auswertung als Vergleich von unscharfen und scharfen Aufnahmen erfolgte, ist es von hoher Wichtigkeit, daß alle Faktoren, die die Schwärzung beeinflussen, konstant gehalten werden, und zwar während aller Schritte der Verarbeitung des Materials, also bei Belichtung, Positiv- und Negativverfahren.

Entwickelt wurde in Rodinal 1+5o (aqua dest.) bei 2o°C 12 Minuten lang in der Entwicklungsdose, die jede Minute einmal gekippt wurde. Nach 1/2 Minute Zwischenwässerung wurde der Film 1o Minuten bei 2o Grad fixiert (jede Minute eine Kippung der Dose um 18o Grad und zurück), danach 3o Minuten in fließendem Wasser gewässert und nach einer Behandlung mit Agepon (zwei Minuten in aqua dest. 1+1oo) im Trockenschrank getrocknet. Diese Entwicklung liefert ein γ von o,8.

Die Negative wurden alle auf weißes Hochglanzpapier normaler Gradation fünffach vergrößert. Entwickelt wurde in Neutol 1+7 aqua dest. 1,5 Minuten bei 2o°C unter Schaukelbewegungen.

Der bei Schaukelbewegungen entstehende Fehler der gleichmäßigen Schwärzung verschiedener Positive von etwa 5 % (FORMSTECHER, 12) ist vernachlässigbar und geringer, als wenn die Positive unkontrolliert mit der Zange bewegt werden.

Nach Zwischenwässerung in aqua dest. mit Eisessig erfolgt die Fixierung zehn Minuten bei 2σ Grad, danach Wässerung 3o Minuten in fließendem Wasser und Trocknen auf Hochglanz, da Hochglanzpapiere eine etwas umfangreichere Skala der Schwärzungsabstufungen geben als Mattpapiere (EDER, 11).

4.4 Belichtung der Testaufnahmen

Die Belichtungsmessung erfolgte stets in der Stellung des Teilungsprismas im Grundkörper II, bei der alles Licht vom Mikroskop auf die Photozelle umgelenkt wird. Die Belichtung wurde ohne Zwischenschalten von Lichtfiltern mit dem Lichtmeßgerät II Carl Zeiss gemessen. Dies ist ein Stromverstärker mit Zeigerinstrument zur Anzeige des verstärkten Photostromes, abschwächbar in 3 Stufen 1ooo:1oo:1o:1 (ZEISS, 5o).

Die Belichtung der Meßaufnahmen wurde in der Stellung des Teilungsprismas im Grundkörper durchgeführt, in der alles Licht vom Mikroskop zur Kamera gelangt.

Mit dem auch später verwendeten Filmmaterial wurde mit der beschriebenen Anordnung eine Belichtungsreihe von 1/8 über 1/4, 1/2 ... bis 64 sec aufgenommen. Aus den gemessenen Dichten der Negative wurde eine Schwärzungskurve konstruiert, aus der das den Entwicklungsbedingungen entsprechende γ abgelesen werden konnte (γ = o,8). Die Lichtintensität wurde so geregelt, daß die Schwärzung in den Spalten des Präparats für eine Belichtungszeit von 1/2 sec 1,o betrug, entsprechend einem kräftigen Mittelton (EDER, 11) und genügend weit von dem Wert o,4 entfernt, bei dem das Korn des Films maximal wird (EDER, 11). Ein feineres Korn ist für ein hohes Auflösungsvermögen wünschenswert.

Die Intensität der Beleuchtung wurde durch Graufilter den jeweiligen Belichtungszeiten so angepaßt, daß alle Negative genau die gleichen Schwärzungswerte aufwiesen. Eine Korrektur der Werte wurde wegen Streuungen der Filmeigenschaften und des Schwarzschildeffekts (FORMSTECHER, 12; EDER 11) erforderlich.

Das hieraus entstandene Belichtungsschema (Tabelle 3) wurde in allen Versuchen verwendet.

Die Belichtung der Testaufnahmen wurde im abgedunkelten Raum durchgeführt, um störendes Raumlicht während der langen Sicherheitszeiten oder der Expositionszeit zu vermeiden.

Tabelle 3

Belichtungsschema
Belichtungszeiten mit Filterwerten und Skalenteilen des verwendeten Lichtmeßgeräts

Belichtungszeit sec	Filter	Lichtmeßgerät	
		Stufe	Anzeige
1/2	-	1oo	3o
1	o,5	1oo	3o
2	o,5 + o,5	1oo	4o
4	o,12	1oo	4o
8	o,12 + o,5	1oo	6o
16	o,o3	1oo	3o
32	o,o3 + o,5	1oo	4o
64	o,o3 + o,5 + o,5	1oo	6o
128	o,o3 + o,12	1oo	6o
256	o,o3 + o,12 + o,5	1oo	4o

Für einige Versuche wurden Zwischenwerte der Stufung 1:$\sqrt{2}$ verwendet:

o,7	o,5	1oo	45
1,4	o,5 + o,5	1oo	45
2,8	o,12	1oo	6o
5,6	o,12 + o,5	1oo	4o

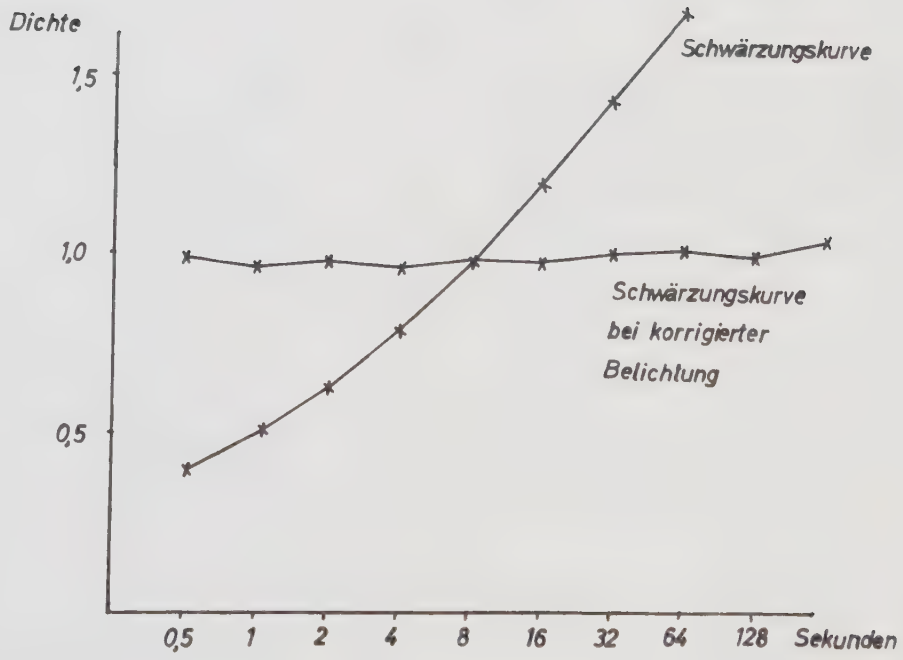


Bild 9 Schwärzungskurve von Agfapan 25

Die Belichtungszeit T_B einer Aufnahme läßt sich in zwei Teilzeiten unterteilen:

a) in T_S, die Zeit, in der die mikrophotographische Einrichtung schwingt und die für eine Versuchsgruppe konstant ist und

b) in T_R, die Zeit, in der sich die mikrophotographische Einrichtung in Ruhe befindet. Diese Zeit ändert sich mit T_B.

$$T_S + T_R = T_B$$

In den einzelnen Versuchsreihen, in denen bei konstanter Belichtung und konstantem Impuls die Belichtungszeit stufenweise erhöht wird, wird mit steigender Belichtungszeit das Verhältnis der beiden Teilzeiten zueinander zugunsten von T_R verändert.

Ab einem bestimmten, vom Filmmaterial und Verarbeitung abhängenden Verhältnis von T_S zu T_R (in unserem Fall 1:15o, siehe C 4.1) werden die Schwingungen, die nur in der Zeit T_S erfolgen, photographisch nicht mehr dargestellt. Wird in einer Versuchsreihe durch Verlängerung der Belichtungszeit bei gleichbleibender Belichtung dieses Verhältnis gerade erreicht, so ist diese Aufnahme als erste der Versuchsreihe scharf. Daher ist die Belichtungszeit der ersten scharfen Aufnahme einer Versuchsreihe ein Maß für die Stabilität der verwendeten Anordnung; sie ist der Schwingzeit der Anordnung direkt proportional.

4.5 Die Auswertung der Meßaufnahmen

Die Entscheidung, ein Negativ oder Positiv im Vergleich mit einem anderen, scharfen Vergleichsbild als scharf oder unscharf zu bezeichnen, kann als Messen im weiteren Sinne, nämlich als Vergleich einer zu messenden Größe mit einer Normgröße, bezeichnet werden. Messen mehrere Personen mit gleicher Sorgfalt dieselbe zu messende Größe mit demselben Maß, so differieren die Ergebnisse doch innerhalb einer gewissen Breite, da Meßergebnisse nicht nur durch instrumentelle Unvollkommenheit, sondern auch durch die sogenannte "Persönliche Gleichung des Beobachters" belastet werden (KOHLRAUSCH, 2o). Jegliches Messen und somit in unserem Falle die Schärfenbestimmung wird vom Individuum beeinflußt.

Eine Bewertung ohne Vergleichsmaßstab ist kein Messen, sondern ein Abschätzen. Dies wird durch die Beobachtung veranschaulicht, daß Negative oder Positive für sich selbst als scharf gewertet werden können, wenn nicht der gesamte Übergang von unscharfen zu scharfen Aufnahmen oder wenigstens eine Aufnahme maximaler Schärfe zum unmittelbaren Vergleich vorliegt.

Um Fehler in der Beurteilung möglichst klein zu halten, wurden drei verschiedene Auswertungsverfahren durchgeführt (VOSZ, 45):

Zur Negativbeurteilung wurde auf einer von unten beleuchteten Glasscheibe die ganze Negativreihe vom unschärfsten bis zu den scharfen Negativen oder das zu prüfende Negativ und ein maximal scharfes zum Vergleich aufgelegt. Die subjektive Beurteilung scharf, +, oder unscharf, -, konnte so meist mühelos erfolgen.

Die Methode ist in den Tabellen als N (Negativbeurteilung) abgekürzt.

Für die Positivbeurteilung wurden von allen Negativen Ausschnittsvergrößerungen des gleichen Ausschnitts im Maßstab 5:1 hergestellt. Die nach Versuchsreihen sortierten Positive wurden danach aufgrund der Bildqualität zu einer Reihe abnehmender Unschärfe untereinandergelegt. Dies konnte fast immer bis zum ersten scharfen Positiv durchgeführt werden, das heißt, es konnte nicht nur die Tatsache der Unschärfe, sondern meist auch das Ausmaß der Unschärfe festgestellt werden. Im Zweifelsfalle ergab sich das erste scharfe Positiv im Vergleich mit einem maximal scharfen.

Die Positivbeurteilung wird in den Tabellen als V (Vergrößerungsmethode) abgekürzt.

Für die Differenzmethode wurde ein nach der LOVELAND'schen Forderung durch das gleiche optische System hergestelltes maximal scharfes Vergleichsnegativ im Kontakt Schicht auf Schicht mit Agfapan 25 kopiert. Das erhaltene Diapositiv (Bild 1oa) wurde, Schicht nach oben, links und rechts auf die Glasscheibe eines Leuchtkastens geklebt. Das auf Schärfe zu prüfende Negativ wurde darauf, Schicht nach unten, solange verschoben, bis es sich genau mit dem Diapositiv deckte.

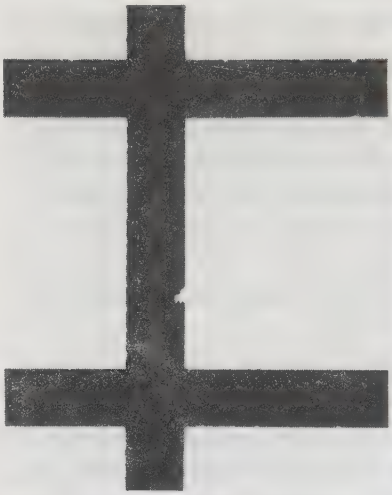


Bild 1oa Scharfes Positiv

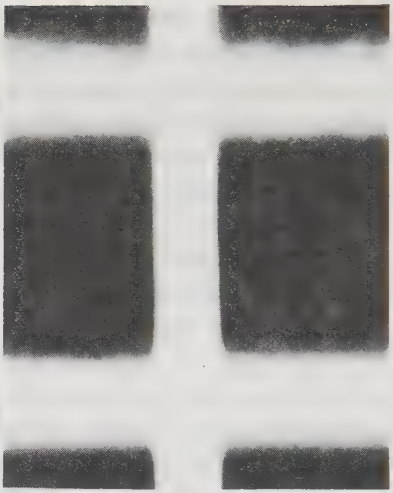


Bild 1ob Unscharfes Positiv

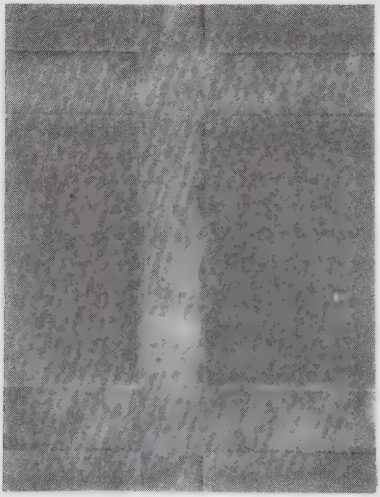


Bild 1oc scharfes Positiv
+ scharfes Negativ

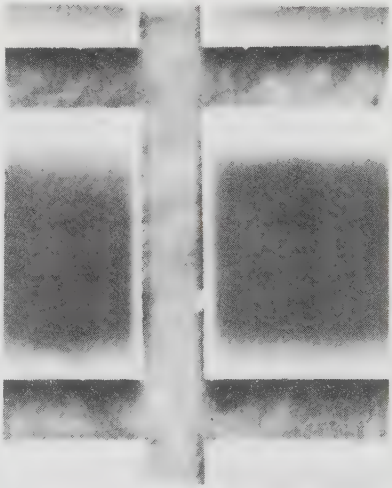


Bild 1od scharfes Positiv
+ unscharfes Negativ

Bild 1o: Photographische Auswertung der Meßaufnahmen

Bei guter Kopie liegt "unter der größten differenzierbaren Dichte des Negativs die geringste differenzierbare Dichte des Positivs" (FORMSTECHER, 12), das heißt, die Grauwerte im Negativ sind genau umgekehrt wie im Positiv und liegen genau gleichweit von einem mittleren Grauton entfernt, zu dessen doppelter Dichte sich alle Töne von Negativ und Positiv bei genauer Deckung addieren. Es entsteht über das ganze Bildformat hinweg ein weitgehend gleichmäßiger Grauton, vorausgesetzt, daß Negativ und Positiv dieselbe Gradation aufweisen (Bild 1oc).

Werden nun ein scharfes Positiv und ein unscharfes Negativ, das gekennzeichnet ist durch einen breiten Übergang von geschwärzter Struktur zu ungeschwärzter, übereinandergelegt, so entsteht an der Konturlinie kein einheitliches Grau, sondern zusätzlich ein heller und dunkler Streifen (Bild 11b, 1od). Da die Unschärfe bei allen Testaufnahmen immer eindeutig und gleichsinnig richtungsabhängig war, konnte mit Prüfung der Konturlinien der Querbalken im Negativ auf diese dunklen und hellen Streifen sehr leicht das Ergebnis scharf oder unscharf ermittelt werden.

Die Differenzmethode ist in den Tabellen als D abgekürzt.

Die Ergebnisse der drei Auswertungsverfahren, der Negativ- und Positivbeurteilung sowie der Differenzmethode stimmten im allgemeinen gut miteinander überein, doch zeigte sich in Grenzfällen die Vergrößerungs- und die Differenzmethode der Negativbeurteilung überlegen.

In diesen Fällen wurde für die endgültige Wertung das Ergebnis der sicheren und aussagekräftigeren Methoden vorgezogen.

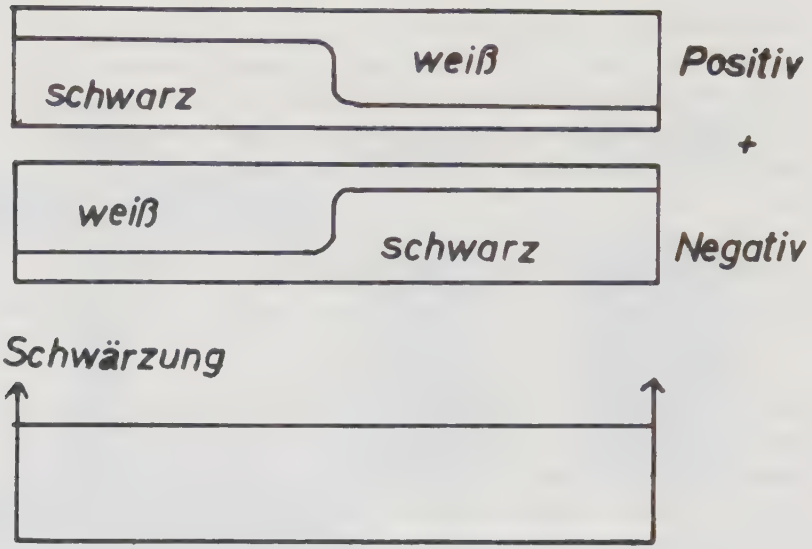


Bild 11a Schwärzungsverlauf bei übereinandergelegtem scharfem Positiv und scharfem Negativ

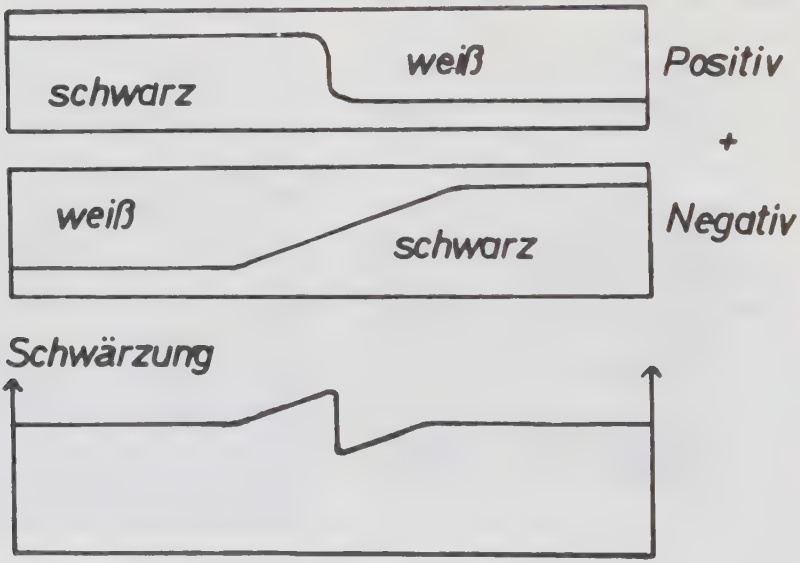


Bild 11b Schwärzungsverlauf bei übereinandergelegtem scharfem Positiv und unscharfem Negativ

D DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

1 Versuchsablauf

Zur besseren Übersicht sei hier kurz der gesamte Ablauf eines Versuches geschildert:

Zuerst wird die Winkelstellung der gewählten mikrophotographischen Einrichtung festgelegt, die Einrichtung in diesem Winkel aufgestellt und die Beleuchtung justiert. Danach erfolgt die Bestimmung der Impulsgröße und die Einstellung derselben über die Fallhöhe und den Abstand des Impulsüberträgers zur Basisplatte. Die Lichtintensität wird mit dem Lichtmeßgerät gemessen und bei Bedarf mit dem Intensitätsregler verändert, während der Verschluß mit dem Handschalter geöffnet bleibt. Vorlaufzeit und Meßbelichtungsdauer werden an der Ansteuerung eingestellt. Zur Schärfenkontrolle wird das Prisma im Grundkörper um 90° gedreht und zur Vermeidung der Blendung das Filter o,12 in den Strahlengang eingeschwenkt. Nun wird mit dem Handschalter der Verschluß im Beleuchtungsstrahlengang geschlossen, das richtige Filter entsprechend der Meßbelichtungsdauer laut Belichtungsschema eingeschwenkt, das Prisma waagrecht verschoben, damit alles Licht zum Film gelangt. Jetzt wird der Verschluß an der Aufsetzkamera mittels Drahtauslöser geöffnet und fünf Sekunden abgewartet, damit alle Schwingungen aus den letzten Manipulationen abklingen können.

Erst dann kann durch Druck auf den Auslöser der Ansteuerung der Fallkörper ausgelöst und die Belichtung des Films durchgeführt werden. Bei Zeiten unter fünf Sekunden Belichtungszeit schließt sich der Verschluß wieder selbsttätig, bei längeren Zeiten muß der Verschluß durch Betätigen des Handschalters innerhalb der ersten fünf Sekunden offengehalten und am Ende der Belichtungszeit wieder verschlossen werden.

Der Drahtauslöser muß jetzt wieder entriegelt, der Film weitertransportiert und der Fallkörper zurück an den Magneten gehängt werden.

2 Übersicht über die Versuchsreihe

1 Mikroskop mit monokularem Phototubus

Impulsrichtung 0^{o}, 45^{o}, 90^{o}, 135^{o}, 180^{o}
Fallhöhe 80 cm, 40 cm, 20 cm

2 Mikroskop mit monokularem Phototubus, zusätzlich träge Masse auf der Aufsetzkamera

Impulsrichtung 0^{o}
Fallhöhe 80 cm, 40 cm, 20 cm
zusätzlich 1 kg bzw. 3 kg träge Masse auf der Kamera

3 Mikroskop mit monokularem Phototubus, zusätzlich träge Masse auf der Basisplatte

Impulsrichtung 0^{o}
Fallhöhe 80 cm
zusätzlich 6 kg träge Masse auf der Basisplatte

4 Mikroskop mit Zeiss-Geradtubus

Impulsrichtung 0^{o}
Fallhöhe 80 cm, 40 cm, 20 cm

5 Mikroskop und Kamera mechanisch getrennt

Impulsrichtung 0^{o}, 90^{o}, 180^{o}
Fallhöhe 80 cm

E ERGEBNISSE

Um die Ergebnisse übersichtlich darzustellen, werden sie in Form von Tabellen angeordnet. Dies erleichtert auch den für die Auswertung nötigen Vergleich.

Da das Urteil "Schärfe" oder "Unschärfe" eine ganz persönliche Entscheidung des Betrachters erfordert (VOSZ, 45), von der Art der Auswertungsverfahren abhängt und bei identischen Versuchsreihen geringfügig variiert, wird die Abhängigkeit der Schärfe vom Versuchsaufbau in einer Tabelle dargestellt, die den ganzen Übergang von Unschärfe zu Schärfe erfaßt.

Jede scharfe Aufnahme wird mit einem "+", jede unscharfe mit einem "-" bezeichnet. Aufnahmen, bei denen Schärfe nicht eindeutig festgestellt werden konnte, erhalten das Zeichen "(+)".

Traten in identischen Versuchsreihen unterschiedliche Ergebnisse auf, die in den Tabellen zu einem Wert zusammengezogen werden mußten, so steht für "+" und "(+)" das Zeichen "(+)", für "-" und "(-)" steht "-", für "+" und "-" steht "$\pm$".

Tabelle 4

Versuchsreihe 1 Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera und mit monokularem Phototubus

Fallhöhe 8o cm															
IR	0°			45°			90°			135°			180°		
T_B	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	+	+	+	(-)	(+)	+	(-)	(-)	+
32	-	-	-	-	-	(-)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
64	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fallhöhe 4o cm															
IR	0°			45°			90°			135°			180°		
T_B	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	(-)	(-)	-	-	-	-	-	-	-
8	+	-	-	(-)	-	+	+	+	+	+	-	-	(-)	-	-
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
64	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fallhöhe 2o cm															
IR	0°			45°			90°			135°			180°		
T_B	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D
2	-	-	-	-	-	-	(-)	-	(-)	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	+	(+)	+	-	-	-	-	-	-
8	(-)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	(-)	(-)	+	+	+
16	+	(+)	+	+	(-)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
64	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 5 Versuchsreihen 2 - 4

Versuchsreihe 2 Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung von Kamera und Mikroskop, monokularem Phototubus und zusätzlich träger Masse auf der Aufsetzkamera

zusätzlich träge Masse												
	1 kg								3 kg			
Fallhöhe	8o cm			4o cm			2o cm			8o cm		
IR	0°											
T_B	N	V	D	N	V	D	N	V	D	N	V	D
4	-	-	-	-	-	-	(+)	-	-	-	-	-
8	-	-	-	+	-	+	+	+	+	(-)	-	+±
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	(+)	+
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Versuchsreihe 3: Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera, monokularem Phototubus und zusätzlich 2 x 3 kg träger Masse auf der Basisplatte

Fallhöhe	8o cm		
IR	o°		
T_B	N	V	D
4	-	-	-
8	-	-	--
16	-	-	-
32	+	(+)	+

Versuchsreihe 4: Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Kamera und Mikroskop und Geradtubus

Fallhöhe	8o cm								
IR	0°								
T_B	N	V	D	N	V	D	N	V	D
4	-	-	-	-	-	±	-	-	±
8	-	-	-	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)
16	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 6

Versuchsreihe 5: Anordnung mit mechanischer Trennung von Kamera und Mikroskop

Fallhöhe	80 cm								
IR	0°			90°			180°		
T_B	N	V	D	N	V	D	N	V	D
1,0	(-)	-	-	±	-	-	(-)	-	-
1,4	+	-	-	+	±	+	+	(+)	+
2,0	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
2,8	+	+	+	+	+	+	+	+	+

F DISKUSSION

1 Die Einflüsse der verschiedenen Geräteanordnungen

Die Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera und mit monokularem Phototubus war im Vergleich mit den anderen Anordnungen am schwingungsempfindlichsten. Der Grund dafür sind die großen Massen (Kamera und Grundkörper) auf der dünnen Strebe (Tubus). Danach bestätigt sich die Auffassung von BURRELS (7), wonach derartige Anordnungen die häufigste Ursache für Relativbewegungen zwischen Objekt und Objektiv und damit der Unschärfe im Bild sind.

Mit der Impulsrichtung ändert sich der wirksam werdende Teil des Impulses, der das Mikroskop anregt. Er ist am größten, wenn der Impuls aus der Richtung der mechanischen Symmetrieebene des Mikroskops eintrifft und am geringsten, wenn der Impuls aus der Richtung senkrecht dazu einwirkt. Trifft der Impuls die mikrophotographische Einrichtung aus der Richtung 0°, beeinträchtigt er die Bildschärfe am meisten. Die Meßbelichtungsdauer für die erste scharfe Aufnahme einer Versuchsreihe kann gegenüber der Impulsrichtung 0° bei der Richtung 45° nicht, bei der Richtung 135° und 180° um etwa eine, und bei der Richtung 90° um 1 bis 2 Stufen reduziert werden.

Der Einfluß der Impulsrichtung ist prinzipiell unabhängig von der Größe des einwirkenden Impulses.

Da die Wirkung des Impulses aus der Richtung 135° und 180° gegenüber den Richtungen 45° bzw. 0° deutlich geringer ist, kann man annehmen, daß das Mikroskop eine andere Schwingbewegung ausführt, wenn es aus 0° angeregt wird, als wenn es aus 180° angeregt wird.

Die Größe des Impulses bestimmt die Schwingzeit des Mikroskops und damit die Meßbelichtungsdauer für die erste scharfe Aufnahme. Es besteht aber zwischen der Impulsgröße und der Meßbelichtungsdauer der ersten scharfen Aufnahme keine lineare Abhängigkeit; wird der Impuls verdoppelt, muß die Meßbelichtungsdauer mehr als nur verdoppelt werden, wenn man eine scharfe Aufnahme erhalten will.

In einem Versuch wurde die Masse am Ende des Hebelarms, also auf der Kamera, durch Auflegen einer zusätzlichen Masse von 1 kg bzw. 3 kg vergrößert. Es fanden sich im Vergleich zu den Versuchen ohne vergrößerte Masse schon scharfe Bilder bei einer um zwei Stufen kürzeren Meßbelichtungsdauer.

Dieses unerwartete, der Auffassung von BURRELS (7) widersprechende Ergebnis einer günstigen Auswirkung der Vergrößerung der Masse auf das Schwingen des Mikroskops steht auch im Widerspruch zu den Ergebnissen von BENEDICKS und WALLDOW, 4), die beim Reichert'schen Metallmikroskop dann eine Schwingung mit vergrößerter Amplitude und verringerter Dämpfung fanden.

Erklärbar wären in unserem Fall die Ergebnisse damit, daß durch eine zusätzliche träge Masse auf der Kamera, senkrecht über dem Tubus, die Schwingungsfähigkeit der Anordnung eingeschränkt wird. Weiter wäre denkbar, daß die Eigenfrequenz der schwingenden mikrophotographischen Einrichtung dahingehend verändert wird, daß sie bei gleichstarkem Impuls nur noch geringere Amplituden aufweist.

Wird die Masse der mikrophotographischen Einrichtung durch Auflegen von Gewichten auf die Basisplatte vergrößert, behält die Einrichtung ihre Schwingungsempfindlichkeit. Die träge Masse absorbiert jedoch einen Teil der von dem Impuls erzeugten Schwingungen und erlaubt eine kürzere Meßbelichtungsdauer für scharfe Aufnahmen im Vergleich zu der

Einrichtung ohne vergrößerte Masse. Das Auflegen der Masse auf die Aufsetzkamera erlaubt aber eine noch stärkere Verkürzung der Meßbelichtungsdauer.

Bereits der gerade Phototubus von Zeiss, der einen größeren Durchmesser und stabilere Wände besitzt, vergrößert die Stabilität der Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera deutlich. Die ersten scharfen Aufnahmen wurden bei einer um ein bis zwei Stufen verkürzten Meßbelichtungsdauer erreicht.

Der Einfluß der Impulsgröße und Richtung ist gleich wie bei der Anordnung mit monokularem Phototubus.

Der Nutzen von mechanischer Trennung von Kamera und Mikroskop ist in der Literatur allgemein anerkannt. Nur ALLEN (1) hält die Trennung für "die schlechteste Anordnung überhaupt, wenn sie nicht in einem von Erschütterungen völlig freien Raum aufgestellt ist". Der falsche Ansatz dieser Meinung ALLENs ist so zu verstehen, daß bei Erschütterungen Kamera und Mikroskop im Falle der Trennung selbständig und gegeneinander schwingen können. Es ist jedoch prinzipiell unwahrscheinlich, daß durch diese Relativbewegungen zwischen Okular und Kamera die Bildschärfe beeinträchtigt wird (siehe C).

Unsere Messungen zeigten bei der getrennten Anordnung die theoretisch zu erwartende sehr deutliche Minderung der Erschütterungsunschärfe.

Die Änderung der Impulsrichtung wirkt sich hier nicht mehr so deutlich aus wie bei der Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Kamera und Mikroskop, weil durch das Fehlen der trägen Massen von Kamera und Grundkörper auf dem Tubus die Einrichtung schwingungsunempfindlicher geworden ist und auch in anderen Richtungen als in der mechanischem Symmetrieebene des Mikroskops eher schwingt.

Der Einfluß der Impulsgröße ist gleich wie bei der Anordnung mit monokularem Phototubus.

2 Aufstellungsbedingungen

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Erschütterungsempfindlichkeit mikrophotographischer Einrichtungen, insbesondere die der gebräuchlichen Aufsetzkonstruktionen, die schon von LOVELAND (21), SCHÄFER (35), STÜPER (42) und VOSZ (45) bemängelt worden sind.

Mit einiger Sorgfalt können auch bei einfachen mikrophotographischen Einrichtungen die von außen einwirkenden oder im Gerät selbst entstehenden Erschütterungen erkannt und ihre Auswirkungen auf die Bildschärfe weitgehend verhindert werden. Für die Praxis reicht es aus, bei erschütterungsfreier Aufstellung die vom Gerät ausgehenden Erschütterungen durch Verlängerung der Belichtungszeit unwirksam zu machen (VOSZ, 45). Bei erschütterungsgefährdeter Aufstellung muß zusätzlich durch mechanische Trennung von Mikroskop und Kamera der Einfluß von den von außen kommenden Erschütterungen verringert werden.

Wird gegen die Auswirkung der immer vorhandenen Erschütterungen nichts unternommen, gehen die Vorteile der optimal korrigierten Optik und der ausgeklügelten mechanischen Konstruktion der Einrichtung für die Bildqualität verloren.

G NEBENERGEBNISSE

Im Verlauf der Untersuchungen wurde eine Erscheinung beobachtet, die bis zu einem gewissen Grad auch die Schärfe einer mikrophotographischen Aufnahme beeinflussen kann. Durch die auf das Mikroskop einwirkenden Impulse erfolgte in Richtung der Kugelbahnführungen eine Wanderung des Kreuztisches, die in einer Abhängigkeit zu den vorher durchgeführten Tischbewegungen stand. Diese Wanderung des Tisches erreichte unter extremen Bedingungen den Wert von 5 µ pro Impuls.

Einen weiteren Einfluß auf die Tischwanderung übt die mechanische Ankoppelung des Tubus über das Immersionsobjektiv mit seinem Ölfilm auf das Objekt und damit den Objekttisch aus. Es werden hier Zug- und Schubkräfte übertragen, die die Wanderung des Tisches beeinflussen. Die wirksam werdenden Kräfte auf den Tisch sind sehr schwer in ihre einzelnen Komponenten zu zerlegen, um ihren Einfluß auf die Wanderung einzeln zu erfassen. Die resultierenden, durch die Tischwanderung sich darstellenden Kräfte wechseln durch eine Änderung der Stärke entgegengesetzt angreifender Zugspannungen häufig ihr Vorzeichen.

Als Beispiel sei eine Meßreihe angeführt, die die Abhängigkeit der Tischwanderung von der Tischvorgeschichte, der Impulsrichtung sowie den Einfluß der Ölimmersion aufzeigen soll. Die gefundenen Werte ändern sich auf eine nicht vorherzusagende Weise sehr stark, sobald an den Versuchsbedingungen geringe Änderungen vorgenommen werden. Es ist hierbei noch mit sehr komplexen Parametern zu rechnen, und es würden noch eine Vielzahl von Untersuchungen nötig sein, die den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden. An der Tatsache, daß diese irreversible Wanderung des Tisches auftreten kann und zu Störungen bei der Mikrophotographie führt, ändert die Unsicherheit der Meßergebnisse sowie die Schwierigkeiten ihrer Interpretation nichts.

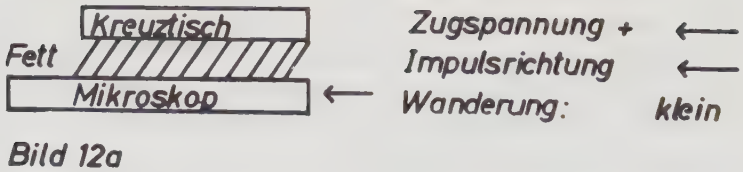


Bild 12a

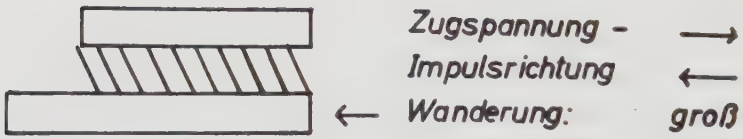


Bild 12b

Bild 12c

Bild 12d

Bild 12 Wanderungsstrecke des Kreuztischs bei verschiedener Impulsrichtung und unterschiedlichen vorgegebenen Zugspannungen

Meßreihe einer Tischwanderung unter verschiedenen Bedingungen.

Untersucht wurde die schon bei den anderen Versuchen benutzte Einrichtung mit monokularem Phototubus. Um die Koppelungseffekte über das Immersionsöl zu zeigen, wurde eine Versuchsreihe mit dem Trockenobjekt 25/o,63 und dem Immersionsobjektiv 1oo/1,25 Öl durchgeführt. Die Impulse wurden aus den Richtungen 0^{o}, $9o^{o}$, $18o^{o}$ auf das Mikroskop übertragen.

Da die Tischvorgeschichte (d.h. vorhergehende Manipulationen am Tisch) einen Einfluß hat, der durch den Aufbau von Zugspannungen in der Fettschicht der Kugelbahnen verursacht wird, mußte für eine definierte Ausgangslage bei allen Versuchen gesorgt werden. Durch Verschieben des Tisches bis in die Endlage und Zurückschieben bis zur Einstellung des Testobjektes wurde vor jedem Versuch eine Zugspannung aufgebaut. Erfolgte die Einstellung zum Testobjekt hin in Richtung auf den Tubusträger, so hatte die sich aufbauende Zugkraft die Richtung vom Tubusträger weg. Sie wurde als Minusrichtung definiert und fällt mit der Richtung des unter $18o^{o}$ auf das Stativ einwirkenden Impuls zusammen. Im umgekehrten Falle hat die Richtung das Vorzeichen + und stimmt mit dem 0^{o} Impuls in der Richtung überein.

Die Impulse wurden mit der schon beschriebenen Einrichtung unter den gleichen Bedingungen auf das Mikroskop übertragen und die Verschiebung des Tisches durch Aufnahmen des Testobjektes nach je 1o Impulsen bestimmt. Die Fallhöhe des Fallkörpers betrug 8o cm.

Die Wanderungsstrecke des Kreuztisches wurde im Vergrößerungsgerät bei fünffacher Vergrößerung der Negative ausgemessen. Es ergab sich bei den Aufnahmen mit dem Objektiv 1oo/1,25 Öl ein Gesamtabbildungsmaßstab 32oo:1, beim Trokkenobjektiv 25/o,63 78o:1. Im Negativ wurde ein markanter Punkt aufgesucht und seine Entfernung gegen den Bildrand

gemessen. Die Differenz der Entfernung zweier markanter Punkte in aufeinanderfolgenden Bildern wird als Maß für die Tischwanderung nach je 1o Impulsen benutzt.

Die Richtung der Wanderung des Kreuztisches wird analog der der Zugspannung als minus definiert, wenn der Kreuztisch in der Richtung vom Tubusträger wegwandert. Sie hat das Vorzeichen plus, wenn der Tisch auf den Tubusträger zuwandert. Von diesen Werten wurden Wanderungskurven aufgezeichnet, die eine Abhängigkeit der gesamten Wanderungsstrecke von der Zahl der einwirkenden Impulse aufzeigen.

Die graphische Darstellung der Kreuztischwanderung (Bild 13) erscheint zunächst durch ihre Asymmetrie verwirrend. Wie sich die Richtung des übertragenen Impulses auf die Wanderung auswirkt, soll anhand von Bild 12 verdeutlicht werden. Bei der Impulsübertragung bleibt die relativ große träge Masse des Kreuztisches gegenüber Schwingungen des Mikroskops zunächst in Ruhe. Die Energie wird der Fettschicht der Kugelbahnschmierung mitgeteilt, und die Spannungen darin können sich ausgleichen. Dadurch wandert der Kreuztisch in Richtung der vorgegebenen Spannung. Wenn die Richtung des Impulses der der Fettspannung entgegengerichtet ist (Bild 12 b und c), werden die Spannungen sofort abgebaut; wenn die beiden Richtungen gleichsinnig sind (Bild 12 a und d), können die Spannungen zunächst sogar noch vergrößert werden und bauen sich erst beim Nachschwingen des Mikroskops und nur teilweise ab. Die Wanderungsstrecke des Kreuztisches ist gegenüber dem ersten Fall beträchtlich kleiner. Nimmt man nun noch an, daß das Mikroskop unterschiedliche Schwingungen ausführt, wenn es von 0° oder $18o^{\circ}$ angeregt wird (siehe Abschnitt F 1), läßt sich auch die Asymmetrie der Kurven erklären.

Bei der Impulsrichtung von $9o^{\circ}$ reicht offenbar der wirksam

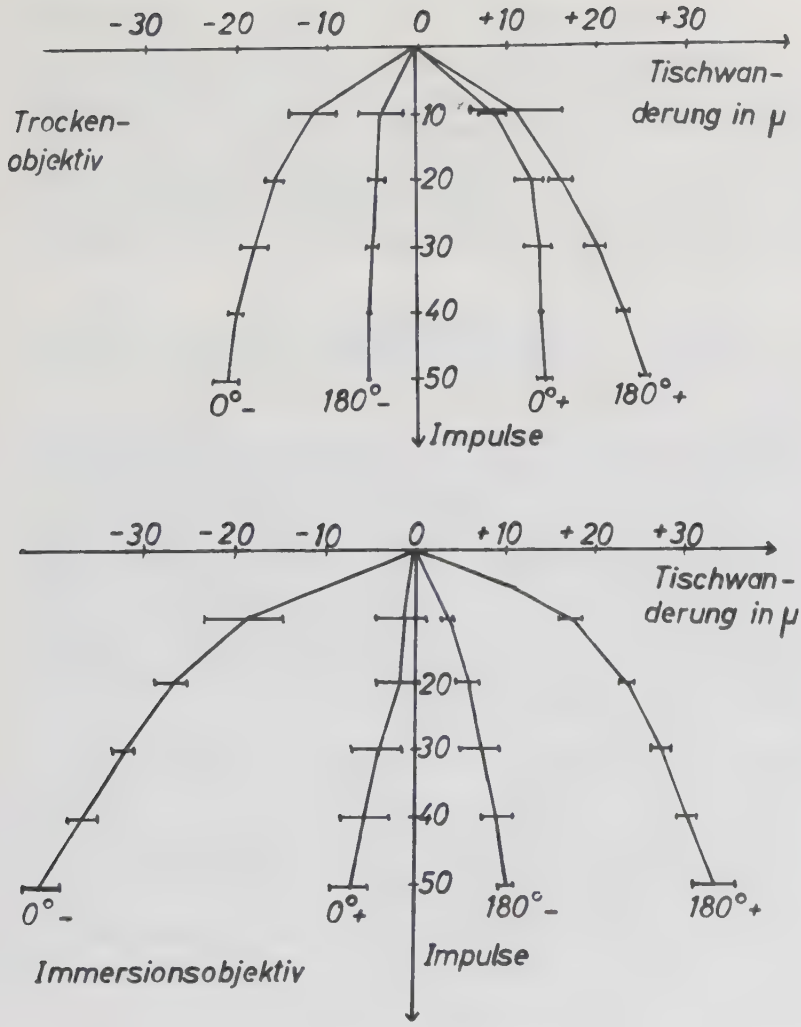


Bild 13 Wanderungskurve des Kreuztischs beim Trockenobjektiv (oben) und Immersionsobjektiv (unten)

werdende Anteil der Energie des Impulses nicht einmal dazu aus, die Zugspannungen in der Fettschicht auszulösen.

In der zweiten Darstellung (Bild 13 unten), in der die Wanderung des Kreuztisches mit einem immergierten Präparat dargestellt ist, zeigt sich für den Fall der entgegengesetzten Richtung von Impuls und Zugspannung eine weitere Wanderung des Kreuztisches, als bei den Versuchen mit dem Trockenobjektiv, während sich im Fall der gleichsinnigen Richtungen die Wanderungsrichtung umkehrt, verglichen mit den Versuchen mit dem Trockenobjektiv.

Hier treten zu den oben beschriebenen Kräften, die bei der Verwendung eines Trockenobjektivs auf den Kreuztisch entstehen, noch andere hinzu, die durch das Schwingen des Mikroskops verursacht werden, und über das visköse Immersionsöl, mit dem der Tisch an das Objektiv angekoppelt ist, auf den Kreuztisch übertragen werden. Da die Schwingungen des Objektivs gegen den Kreuztisch zu den Schwingungen des Kreuztisches gegen das Mikroskopstativ wegen des langen Hebelarms des Tubusträgers sicher phasenverschoben sind, können Kräfte entstehen, die die Wanderungsrichtung des Kreuztisches, verglichen mit der bei der Verwendung eines Trokkenobjektivs, abweichend beeinflussen.

Eine Wanderung des Kreuztisches und damit des Objekts kann durch den Einfluß von außen kommender Impulse, die das Mikroskop zum Schwingen anregen, verursacht werden.

Eine bei der Tischbewegung in der Fettschicht der Kugelbahnschmierung aufgebaute Zugspannung, die durch die Reibung in den bewegten Teilen des Tisches sich nicht ausgleichen kann, wird durch die angeregten Schwingungen des Mikroskops freigesetzt und läßt den Tisch und damit das Objekt in die Richtung der vorgegebenen Zugspannung wandern.

Zusätzlich kann eine Übertragung der Schwingungen auch durch das Öl zwischen Immersionsobjektiv und Präparat erfolgen.

Bedingt durch die Konstruktionsgegebenheiten kann sich bei dem verwendeten Kreuztisch nur in der y-Verschiebungsrichtung eine Zugspannung in der Fettschicht aufbauen. Der Tisch besitzt nur für die Verschiebung der relativ großen Masse der Auflegefläche in der y-Richtung Kugelbahnen, während der relativ leichte Objekthalter durch eine Spindelführung mit sehr großer innerer Reibung in der x-Achse bewegt wird.

Die relativ große träge Masse der Auflegefläche wird Schwingungen des Mikroskopes gegenüber weitgehend in Ruhe bleiben und damit die Schwingungsenergie der verbindenden Fettschicht mitteilen. Die bestehenden Zugspannungen gleichen sich dabei durch Aufhebung der Reibung des Systems aus,und der Tisch wandert in der y-Achse bis zum Ausgleich der vorgegebenen Spannungen.

H ZUSAMMENFASSUNG

Gegenstand der Untersuchungen ist der Einfluß äußerer, künstlich erzeugter, definierter Erschütterungen auf die Bildschärfe bei der Anwendung einer der gebräuchlichen mikrophotographischen Einrichtungen, einer Aufsetzkamera.

Ursache für die Bildunschärfe sind Schwingungen von Bauelementen des Mikroskops, die zu reversiblen und unter Umständen auch irreversiblen Relativbewegungen zwischen Objektiv und Objekt führen.

Unter sonst gleichen Bedingungen wurde die Stabilität unterschiedlicher Anordnungen am Beispiel zweier verschieden konstruierter Mikroskoptuben bei starrer mechanischer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera sowie bei mechanischer Trennung zwischen diesen beiden untersucht. Der Einfluß von Schwingungen nach einem Impuls definierter Größe wurde in Abhängigkeit von Größe und Richtung dieses Impulses bestimmt.

Für das Ausmaß der Bewegungsunschärfe ergaben sich erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit vom Aufbau der mikrophotographischen Einrichtung sowie der Größe und der Richtung des Impulses.

Die Möglichkeiten zum Erkennen und Verhindern von Erschütterungen werden anhand der Ergebnisse der eigenen Versuche und der Literatur erörtert.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN

		Seite
Bild 1a - e:	Impulsrichtungen	13
2a:	Photographische Bestimmung der Erschütterungsempfindlichkeit des Unterbaus, Testobjekt Rußflöckchen auf Wasseroberfläche, absolute Ruhe	16
2b:	Testobjekt bei Impuls von 1,9 mkg/sec senkrecht auf den Fußboden, in Raummitte	16
2c:	Testobjekt bei Impuls von 1,9 mkg/sec senkrecht auf den Fußboden, unmittelbar vor dem Aufbau	16
2d:	Testobjekt bei Impuls von o,o85 mkg/sec an die Basisplatte	16
3:	Impulserzeuger, schematisch	22
4:	Versuchsaufbau schematisch	25
5:	Impuls des Fallkörpers bei zugehöriger Fallhöhe	28
6:	Zeitlicher Ablauf von Impulseinwirkung und Änderung der Vorlaufzeit für die Belichtung	3o
7:	Kalibrierung der Skala der Meßbelichtungsdauer	32
8a:	Testobjekt, Kontaktkopie vom Negativ, wiedergegeben im Maßstab 1:1	35
8b:	Testobjekt, Kontaktkopie vom Negativ, wiedergegeben im Maßstab 1:1	35
9:	Schwärzungskurve von Agfapan 25	4o
1oa:	Photographische Auswertung der Testaufnahmen, scharfes Positiv	44
1ob:	unscharfes Negativ	44
1oc:	scharfes Positiv + scharfes Negativ	44
11d:	scharfes Positiv + unscharfes Negativ	44
11a:	Schwärzungsverlauf bei übereinandergelegtem scharfem Positiv und scharfem Negativ	46
11b:	Schwärzungsverlauf bei übereinandergelegtem scharfem Positiv und unscharfem Negativ	46
12:	Wanderungsstrecke des Kreuztisches bei verschiedener Impulsrichtung und unterschiedlichen vorgegebenen Zugspannungen	58
13:	Wanderungskurve des Kreuztisches beim Trockenobjektiv und Immersionsobjektiv	61

Seite

Tabelle 1: Fallzeit, Aufschlaggeschwindigkeit und Impuls des Fallkörpers von 43 g bei vorgegebener Fallhöhe ohne Berücksichtigung von Reibung und Luftwiderstand 27

2: Größe der Impulse, die an die Basisplatte übertragen werden

3: Belichtungsschema 39

4: Versuchsreihe 1 Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera und mit monokularem Phototubus 5o

5: Versuchsreihe 2 bis 4
2: Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung von Kamera und Mikroskop, monokularem Phototubus und zusätzlich träger Masse auf der Aufsetzkamera

3: Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera, monokularem Phototubus und zusätzlich 2 x 3 kg träger Masse auf der Basisplatte

4: Anordnung mit mechanisch starrer Verbindung zwischen Mikroskop und Aufsetzkamera und Geradtubus 51

6: Versuchsreihe 5 Anordnung mit mechanischer Trennung von Mikroskop und Aufsetzkamera 52

I LITERATURVERZEICHNIS

1. ALLEN, R. M.: Photomicrography;
2. Edition, D. van Nostran Company Inc., Princetown, Toronto, London, New York (1959)

2. ANGENHEISTER, G. u. W. SCHNEIDER: Messung der Erschütterung von Boden und Gebäuden, hervorgerufen durch Maschinen und Fahrzeuge;
Zeitschr. f. techn. Physik 9, 115 - 118 (1928)

3. BENEDICKS, C. u. P. SEDERHOLM: Prüfung des großen Metallmikroskops von Carl Zeiss, Jena;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 48, 99 - 1o1 (1931)

4. BENEDICKS, C. u. E. WALLDOW: Eingehende Prüfung des neuen Reichert'schen Metallmikroskops nebst allgemeinen Studien über die Beleuchtungsoptik des Metallmikroskops;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 36, 193 - 218 (1919)

5. BEREK, M.: Der neue mikrophotographische Apparat der optischen Werke E. Leitz;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 4o, 253 - 257 (1923)

6. BOEGEHOLD, H.: Die Verbesserung des Bildfelds der Mikroskopobjektive (Planachromate);
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 55, 17 - 25 (1938)

7. BURRELS, W.: Industrial Microscopy in Practice;
Fountain Press London (1961)

8. BUSCH, E.: Das Busch-Citophot, eine neuartige mikro- und makroskopische Kamera. Blätter für Untersuchungs- und Forschungsintrumente 1o,1ff (1936)(zit.n.VOSZ,45)

9. DIN 4512: Photographische Sensitometrie. Bestimmung der Lichtempfindlichkeit von Schwarz-Weiß-Negativmaterial für bildmäßige Aufnahmen;
DIN 4512, Blatt 1, Beuth-Vertrieb GmbH,
Berlin und Köln 1961

1o. DYBKAER, R.: Vibration absorbing mount, especially for high-power time laps micro-cinematography;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 68, 42 - 5o (1967)

11. EDER, J. M.: Sensitometrie, photographische Photometrie und Spektrographie;
in: EDER, M. M.: Ausführliches Handbuch der Photographie;
3. Band, 4. Teil, W. Knapp, Halle (Saale) (1930)

12. FORMSTECHER, F.: Die Sensitometrie;
in: Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, herausgegeben von Alfred Hay,
Band 4, Wien, Springer (1930)

13. FREUND, H.: Panphot, ein neues mikrophotographisches Gerät;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 50, 441 - 446 (1933)

14. FRANKENBERG, v.: Der mikrophotographische Apparat Kam. S nach Romeis;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 47, 346 - 351 (1930)

15. GIMESI, F.: Das Mikrophotographieren mit Kleinkameras;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 50, 419 - 427 (1933)

16. HIND, H. L. u. W. B. RANDLESS: Handbook fo Photomicrography London, Routledge and sons;
Lim. second Edition (1927)

17. HNATEK, A.: Die Helligkeitsverteilung in der sich bei Momentaufnahmen bewegter Gegenstände ausbildenden Zone der Randunschärfe;
Photogr. Korrep. 88, 119 - 122, 135 - 139, 151 - 159 (1952)

18. JOHNSON, B. K. siehe MARTIN, L. C. u. JOHNSON, B.K.

19. KEIDEL, W. D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie;
3. Aufl., Thieme Stuttgart (1973)

20. KOHLRAUSCH, F.: Praktische Physik, Bd. 1, 21. Aufl.;
Teubner Stuttgart (1960)

21. LOVELAND, R. P.: Photomicrography Vol. 1 u. 2;
Wiley and sons, New York, London, Sydney, Toronto (1970)

22. MARTIN, L. C. and B. K. JOHNSON: Practical Microscopy;
3. Aufl. London, Blackie and sons, lim. Glasgow (1965)

23. METZNER, P.: Das Mikroskop;
7. Aufl., Fr. Deuticke, Leipzig und Wien (1928)

24. MICHEL, K.: Die Mikrophotographie;
In: Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, Ergänzungswerk, erster Band; Wien (1943)

25. MICHEL, K.: Die Mikrophotographie;
In: Die wissenschaftliche und angewandte Photographie, Bd. 1o, 2 Aufl., Wien Springer (1962)

26. MUTTER, E.: Kompendium der Photographie 1. Band, 2. Aufl., Verlag für Radio- und Kliniktechnik GmbH, Berlin-Borsigewalde (1963)

27. NIDETZKY, G.: Eine Fehlerscheinung bei Kleinbildkameras (Filmlage);
Der Lichtbildner (zit. n. PETERFI, 29)

28. OELZE, F. W.: Über Mikrokinematographie und Mikromomentphotographie;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 36, 193 - 218 (1919)

29. PETERFI, T.: Mikrophotographie;
In: Wissenschaftliche Anwendung der Photographie, zweiter Teil in: HAY, A. u. M. v. ROHR: Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie; Band 4, Wien Springer (1933)

3o. PRITSCHOW: Die Kleinbildkamera:
In: Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, Ergänzungswerk, 1. Band, Wien Springer (1943)

31. PIKLI, M.: Neues Hilfsmittel auf dem Gebiet der Mikrokinematographie und Mikromomentphotographie;
Zeitschr. f. Instrumentenkunde 47, 51 - 56 (1927)

32. RANDLESS, W. B.: siehe HIND, H. L und RANDLESS

33. REINERT, G. G.: Eine neue aufsetzbare Mikrokamera;
Zeiss-Nachrichten H 7,1, 37 - 4o (1934)

34. ROMEIS, B.: Mikroskopische Technik, 16. Aufl. München und Wien (1968), § 42 (a), S. 12.

35. ROSS, F. E.: Photographic sharpness and resolving power;
Abr. Sc. Publ. Eastman 9o (192o)

36. SCHAEFER: The photomicrographic Camera;
In: The Microscop as a Camera;
London, New York, Focal Press (1971)

37. SCHNEIDER, W.: siehe ANGENHEISTER, G. und SCHNEIDER

38. SCHÜLLER, F.: Mechanischer Aufbau des Mikroskops und seine Pflege;
In: BEYER, H., Handbuch der Mikroskopie,
VEB Verlag Technik, Berlin (1973)

39. SEDERHOLM, P.: siehe BENEDICKS, C. und SEDERHOLM

4o. SHILLABER, Ch. P.: Photomicrography;
Wiley and sons, New York, 5. Aufl. (1959)

41. STEHLE: Ein neues Gerät in der Microphotographie;
Microkosmos 41, 134 ff (1951/52)

42. STÜPER, J.: Die photographische Kamera;
In: MICHEL, K.: Die wissenschaftliche und angewandte Photographie, Band 2, Wien Springer (1952)

43. STADELMANN, E.: Eine mikrophotographische Zeitrafferanlage mit Auswertungsvorrichtung;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 65, 172 - 185 (1961/4)

44. TRÖTHANDEL, O.: Die Mikrokinematographie in der Biologie;
Zeitschr. f. wiss. Mikr. 48, 3o - 46 (1931)

45. VOSZ, W.: Erschütterungsunschärfen in der Mikrophotographie;
Dissertation, Tübingen 1972

46. WALLDOW, E.: siehe BENEDICKS, C. und WALLDOW

47. WEIDEL, G.: Verfahren zur Wiedergabe mikroskopischer Bilder;
In: BEYER, Handbuch der Mikroskopie, VEB-Verlag Technik Berlin (1973)

48. WHITE, G. W.: Introduction to Microscopy;
London, Butterworths (1966)

49. Mikroskopieren von Anfang an;
Zeiss Druckschrift G 4o-1oo-d

5o. Aufsetzkamera zur Mikrophotographie;
Zeiss Druckschrift G 4o-415-d

Herrn Professor Dr. Haselmann möchte ich danken für die Überlassung des Themas, des Arbeitsraumes, der mir im Institut für wissenschaftliche Mikroskopie zur Verfügung gestellt wurde und für seine jederzeit freundliche Unterstützung in Rat und Tat.

Besonderen Dank schulde ich auch Herrn Univ.-Doz. Dr. Habermalz für seine vielen Anregungen, besonders zur Methodik und Auswertung sowie für seine gewissenhafte Durchsicht der Manuskripte.

Auch allen anderen Institutsmitgliedern gilt mein Dank für ihre Mithilfe.

Lebenslauf

Am 19. April 1952 wurde ich, Wolfgang Dieter Hämmerle, als Sohn des Kurt Hämmerle und seiner Frau Emilie, geborene Leis, in Reutlingen geboren. Dort besuchte ich ab 1959 die Volksschule und wechselte 1963 auf das Johannes-Kepler-Gymnasium, wo ich am 19. Juni 1971 das Abitur bestand.

Im Wintersemester 1971/72 begann ich in Tübingen das Studium der Zahnheilkunde, dort legte ich im Oktober 1972 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im April 1974 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Die zahnärztliche Prüfung beendete ich am 22. Juni 1977.

Am 21. Dezember 1977 begann ich meine Tätigkeit als Zahnarzt bei der Bundeswehr.

Seit dem 12. Mai 1978 bin ich mit Gabriele Hämmerle, geborene Strunk, verheiratet.